

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

NASTAVITELNÝ MODUL OSVĚTLENÍ DO DOMÁCNOSTI

ADJUSTABLE HOME LIGHT SOURCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Denisa Tkáčová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub Streit

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Studentka: Denisa Tkáčová

ID: 211187

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Nastavitelný modul osvětlení do domácnosti

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a vyrobte nastavitelný modul osvětlení pro použití v domácnosti.

Nastavitelné parametry jsou barva a intenzita osvětlení.

Nastavování je realizováno pomocí lokálního uživatelského rozhraní.

Modul musí umět reagovat na měnící se okolní světelné podmínky a přítomnost uživatele.

- 1) Navrhněte nastavitelný modul osvětlení, jemuž lze nastavit barvu a intenzitu světla, včetně nezbytného senzorického vybavení pro autonomní použití
- 2) Návrh musí obsahovat zdroj světla, řídicí jednotku, uživatelské rozhraní, senzorickou část a napájení
- 3) Návrh hardwaru realizujte a oživte
- 4) Navrhněte softwarové vybavení
- 5) Převedte funkčnost

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6

Dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Jakub Streit

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vytvořením a sestavením modulu s regulovatelným zdrojem světla, u kterého je možno měnit barvu a intenzitu osvětlení. Modul bude vybaven senzory zajišťující autonomní řízení a adaptabilní chování v závislosti na přítomnosti uživatele. Součástí bude uživatelské rozhraní zobrazující stav osvětlení.

KLÍČOVÁ SLOVA

světlo, barva světla, zdroje světla, regulovatelný zdroj světla

ABSTRACT

This bachelor thesis is dealing with creation and construction of adjustable light source module that has controllable color and brightness. The module has built in sensors providing autonomous control and adaptable behaviour which depends on presence of a user in front of module. User interface is also included, which displays current statistics of lighting condition.

KEYWORDS

light, color of light, light sources, adjustable light source

TKÁČOVÁ, Denisa. *Nastavitelný modul osvětlení do domácnosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2021, 80 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Jakub Streit

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Denisa Tkáčová
VUT ID autora: 211187
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2020/21
Téma závěrečné práce: Nastavitelný modul osvětlení do domácnosti

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno 24.května 2021

.....

podpis autorky

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jakubu Streitovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno 24.května 2021

.....

podpis autorky

Obsah

Úvod	13
1 Světlo a osvětlení	14
1.1 Popis světla	14
1.2 Sluneční světlo	16
1.3 Umělé zdroje osvětlení	17
1.3.1 Zdroje světla	17
1.3.2 RGB a CCT LED	20
2 Hardware - Výběr komponent pro realizaci výrobku	21
2.1 Parametry zdroje světla	21
2.2 Ovládání LED	22
2.2.1 Pulzní šířková modulace (PWM)	22
2.2.2 Analogové ovládání - proudový zdroj	22
2.2.3 Srovnání	23
2.2.4 Unipolární tranzistor - MOSFET	23
2.2.5 MOSFET jako spínač	24
2.3 Senzory	25
2.3.1 Optický senzor překážky	25
2.3.2 Senzor intenzity osvětlení	26
2.4 HMI	27
2.4.1 Displej	27
2.4.2 Enkodér	29
2.5 Řídící jednotka	30
2.5.1 ESP32	30
2.5.2 SPI	32
2.5.3 I2C	33
2.5.4 Alternativy	35
2.6 Napájení	36
2.6.1 Akumulátory	36
2.6.2 DC/DC měniče - step up, step down	41
2.6.3 Zdroj	44
3 Hardware - Návrh zapojení	45
3.1 Napájení	46
3.1.1 Obvod pro přepínání baterie zdroj	46
3.1.2 Zapojení DC/DC měničů	47

3.1.3	Indikační LED	48
3.2	Obvod pro regulaci osvětlení	49
3.3	Zapojení řídicí jednotky, senzorů a uživatelského rozhraní	49
3.3.1	Senzory	49
3.3.2	Uživatelské rozhraní	50
3.3.3	ESP32	50
3.4	Deska plošných spojů	52
3.4.1	Konektory	52
3.5	Vzhled	53
4	Software	55
4.1	Menu a pohyb v Menu	56
4.1.1	Enkodér - typy stlačení hřídele	56
4.1.2	Pohyb v Menu	56
4.1.3	Hlavní menu	60
4.1.4	Menu 1,2,3	60
4.2	Přepínání baterie zdroj	60
4.3	Měření baterie	60
4.4	Deep sleep	61
4.5	Regulace intenzity a barvy osvětlení	62
4.5.1	Manuální režim	62
4.5.2	Automatický režim	63
4.6	Použité knihovny	65
	Závěr	66
	Literatura	67
	Seznam symbolů a zkratk	73
	Seznam příloh	74
	A Návrh zapojení	75
	B Deska plošných spojů	76
	C Seznam součástek	79
	D Obsah elektronické přílohy	80

Seznam obrázků

1.1	Spektrum elektromagnetického vlnění	14
1.2	Svítivost, světelný tok, intenzita osvětlení	15
1.3	Teplota chromatičnosti zdrojů světla	16
1.4	Spektrum denního světla	16
1.5	Hodnoty CRI	17
1.6	Spektrum zdrojů světla	19
1.7	Barevný model RGB	20
1.8	CCT LED	20
2.1	Zjednodušené blokové schéma zařízení	21
2.2	PWM	22
2.3	Struktura N-MOSFET s indukovaným kanálem	24
2.4	Zapojení spínače s N a P MOSFET	24
2.5	Senzor VL53L1X	26
2.6	Spektrální citlivost materiálů a oka	26
2.7	LCD TFT displej ILI9341	29
2.8	Princip enkodéru	29
2.9	Blokový diagram ESP32	30
2.10	Přehled pinů ESP32 DevKit V1	31
2.11	Blokový diagram SPI	32
2.12	Struktura SDA/SCL vodiče	33
2.13	Posílání I2C zprávy z masteru do slave	34
2.14	Formát I2C zpráv	34
2.15	Nabíjení a vybíjení akumulátoru Li-Ion	36
2.16	Konstrukce akumulátorů	37
2.17	Charakteristika vybíjení akumulátoru	39
2.18	Charakteristika nabíjení akumulátoru	39
2.19	Nabíjecí modul s TP5100	40
2.20	Blokové schéma Step-Up	41
2.21	Blokové schéma Step-Down	43
3.1	Blokové schéma zařízení	45
3.2	Obvod pro přepínání baterie zdroj	46
3.3	Zapojení DC/DC měničů	48
3.4	MT3608	48
3.5	SV911X	48
3.6	Indikační LED	48
3.7	Obvod pro regulaci osvětlení	49
3.8	Komponenty	50

3.9	ESP32 zapojení	50
3.10	Zásuvka přímá PSH02	52
3.11	Vidlice úhlová PSH02	52
3.12	Kontakty ke konektorům PSH02	52
3.13	Konektor XT30x	53
3.14	Vzhled DPS	53
3.15	Vzhled DPS s komponenty a součástkami	53
3.16	Přední strana zrcadla	54
3.17	Zadní strana zrcadla bez krytu	54
3.18	Klasické zrcadlo	54
3.19	Polopropustné zrcadlo	54
4.1	Blokové schéma programu	55
4.2	Pohyb mezi stavy	57
4.3	Vnoření SubMenu1	57
4.4	Vnoření SubMenu2	57
4.5	Pohyb mezi obrazovkami	57
4.6	Hlavní menu	58
4.7	CCT LED	58
4.8	RGB LED	58
4.9	Nastavení	58
4.10	Přechod mezi bary	58
4.11	Bar 1	59
4.12	Bar N	59
4.13	Nastavování hodnot	59
4.14	Výchozí stav	59
4.15	Adjust ++	59
A.1	Návrh zapojení	75
B.1	DPS - Top	76
B.2	DPS - Bottom	77
B.3	Osazovací výkres	78

Seznam tabulek

1.1	Vlnová délka a příslušná barva	14
1.2	Teplota chromatičnosti a barva	16
1.3	Orientační hodnoty parametrů různých typů zdroje světla	19
1.4	Výkonová spotřeba v závislosti na světelném toku	19
2.1	Parametry CCT Epistar 5050 a RGB 5050 LED pásku	21
2.2	Výhody a nevýhody LCD displejů	27
2.3	Parametry LCD displejů	28
2.4	Útlum A/D převodníku v závislosti na měřeném napětí	32
2.5	Srovnání mikročipů	35
2.6	Parametry akumulátorů	37
2.7	Parametry akumulátoru LiPol 126090	38
2.8	Parametry step-up MT3608	42
2.9	Parametry step-up/down S9V11F3S5	43
3.1	Parametry použitých tranzistorů	47
3.2	Použití pinů	51

Seznam výpisů

4.1	Podmínka přepínání baterie zdroj	60
4.2	Měření stavu baterie	61
4.3	Nastavování intenzity a barvy osvětlení CCT LED	62
4.4	Nastavování intenzity a barvy osvětlení RGB LED	62
4.5	Přepočet hodnot z fotorezistoru na výstup LED	63
4.6	Nastavování barvy osvětlení CCT LED v závislosti na pozici Slunce .	65
4.7	Použité knihovny	65

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem regulovatelného zdroje osvětlení, který se bude využívat ke kosmetickým účelům.

Cílem je navrhnout autonomní zdroj osvětlení, který bude nahrazovat sluneční světlo v případě, že ho nebude dostatek. Umělé osvětlení bude simulovat barvu denního světla a jeho intenzita se bude měnit dle okolních světelných podmínek.

Světelný zdroj bude zakomponovaný v zrcadle spolu s displejem zobrazující aktuální stav osvětlení a bude tak sloužit jako uživatelské rozhraní. Zařízení bude schopno reagovat na přítomnost uživatele svým zapnutím, resp. vypnutím, což bude spolu s regulací intenzity zajištěno díky příslušným sensorům.

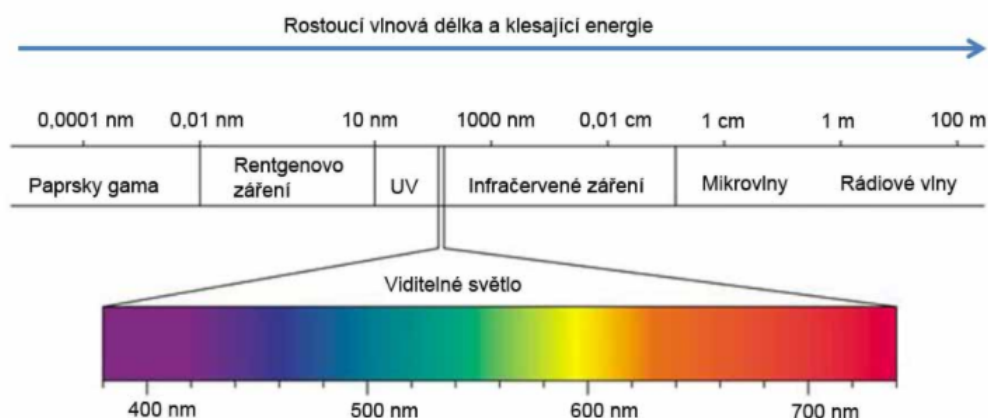
Práce bude rozdělena do několika kapitol. První kapitola se bude zabývat základním popisem světla a umělými zdroji osvětlení. Druhá kapitola se bude zabývat výběrem komponent, senzorického vybavení a způsobu regulace osvětlení. Třetí kapitola se bude věnovat konkrétnímu návrhu hardwaru a vzhledu výrobku. V poslední kapitole bude rozebrán implementovaný kód.

1 Světlo a osvětlení

Tato podkapitola se zabývá základním popisem světla a umělými zdroji osvětlení.

1.1 Popis světla

Světlo je viditelná část elektromagnetického vlnění. Na světlo lze pohlížet jako na spojitou vlnu, ale také jako na proud částic (fotonů) a jeho rychlost šíření ve vakuu je přibližně $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Světlo se skládá ze spektrálních barev, které jsou popsány vlnovými délkami $\lambda = 380 - 780 \text{ nm}$. Nejkratší vlnové délky reprezentují fialovou barvu, která s narůstající vlnovou délkou postupně přechází v modrou, azurovou, zelenou, žlutou až po červenou [1, s. 4-5]. Spektrum elektromagnetického vlnění je zobrazeno na obrázku 1.1.



Obr. 1.1: Spektrum elektromagnetického vlnění [2]

Barva	Vlnová délka [nm]
fialová	380 - 430
modrá	430 - 500
azurová	500 - 520
zelená	520 - 565
žlutá	565 - 590
oranžová	590 - 625
červená	625 - 780

Tab. 1.1: Vlnová délka a barva

Světlo lze popsat nejen vlnovými délkami, ale také tzv. fotometrickými veličinami, které popisují záření viditelné lidským okem. Zakladními veličinami jsou svítivost, světelný tok, intenzita osvětlení a steradián.

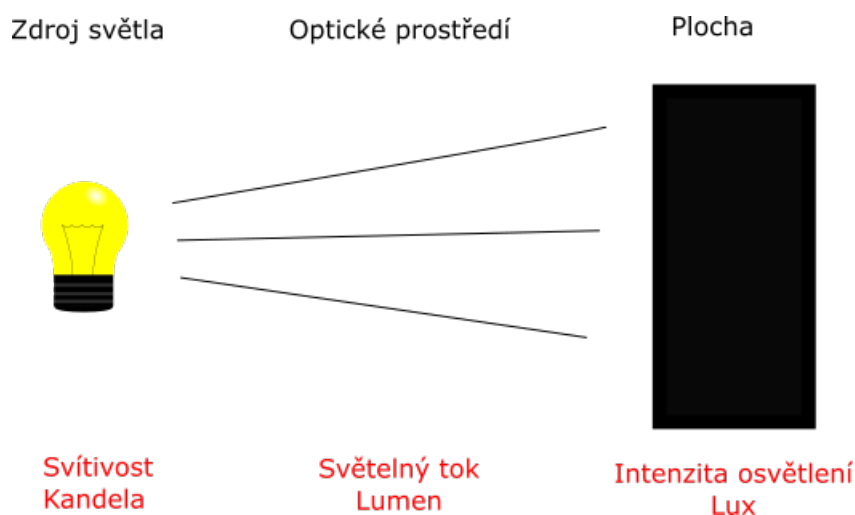
Svítivost I popisuje vlastnost bodového zdroje světla, její jednotkou je kandela [cd][1, s. 10-12].

Světelný tok Φ popisuje šíření světla prostorem. Označuje množství světelné energie, kterou zdroj vyzařuje za jednotku času. Jeho jednotkou je lumen [lm], který je definován jako světelný tok vyzařený zdrojem o svítivosti 1 kandela do prostorového úhlu 1 steradián. Používá se pro všesměrové zdroje. $1 \text{ W} = 680 \text{ lm}$ [1, s. 10-12].

Intenzita osvětlení E popisuje účinky světla při dopadu na povrch tělesa. Vyjadřuje poměr dopadajícího světelného toku k osvětlené ploše. Jednotkou je lux [lux]. 1 lux se rovná 1 lumen dopadající na plochu 1 m^2 [1, s. 10 – 12].

Steradián je jednotka prostorového úhlu. 1 cd odpovídá 12,57 lm [1, s. 10-12].

Pro lepší představu vzájemných vztahů mezi svítivostí, světelným tokem a intenzitou osvětlení slouží obrázek 1.2.



Obr. 1.2: Svítivost, světelný tok, intenzita osvětlení

Výsledná barva světla, kterou vnímáme lidským okem je dána výkonem jednotlivých složek spektra.

Teplota chromatičnosti se používá k popsání barvy zdroje světla. Je dána jako teplota ideálního černého tělesa, které vyzařuje elektromagnetické záření. Nižší teploty odpovídají teplejším barvám a vyšší potom studenějším barvám viz tabulka 1.2 [7].

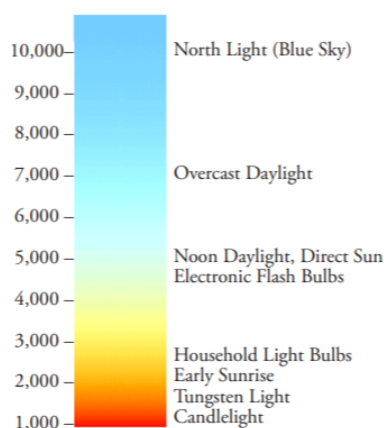
Barevná teplota	Teplota chromatičnosti [K]
teplá bílá (žlutá)	< 3300
neutrální bílá (bílá)	3300 - 5300
chladně bílá (modrobílá)	> 5300

Tab. 1.2: Teplota chromatičnosti a barva

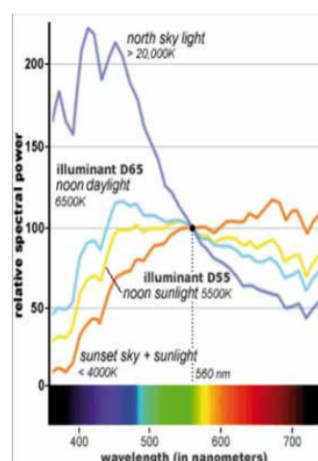
1.2 Sluneční světlo

Sluneční světlo můžeme rozdělit na přímé a difuzní. Přímé světlo je tok světelných paprsků ze Slunce a difuzní světlo je světlo rozptýlené atmosférou. Barva denního světla je během dne proměnlivá. Při východu a západu Slunce se uplatňují delší vlnové délky a detekovaná barva je žlutá až oranžová, v poledne světlo obsahuje kratší vlnové délky a světlo se nám jeví jako bílé až modré [4]. Proměnlivost barvy světla je závislá na míře rozptýlení světla v atmosféře. Pokud je Slunce u obzoru, prochází světlo mnohem větší vrstvou atmosféry, kde se světlo s krátkými vlnovými délkami úplně rozptýlí a zůstane pouze červená a oranžová část spektra s delšími vlnovými délkami. Naopak během poledne se části spektra nerozptýlí úplně a světlo je modré nebo bílé [3].

Spektrum denního světla je zobrazeno na obrázku 1.4, kde můžeme pozorovat rozdíl výkonu jednotlivých složek spektra v závislosti na různém typu denního světla a denní doby. Na obrázku 1.3 je zobrazena teplota chromatičnosti v závislosti na typu zdroje světla.



Obr. 1.3: Teplota chromatičnosti zdrojů světla [4, s. 15]

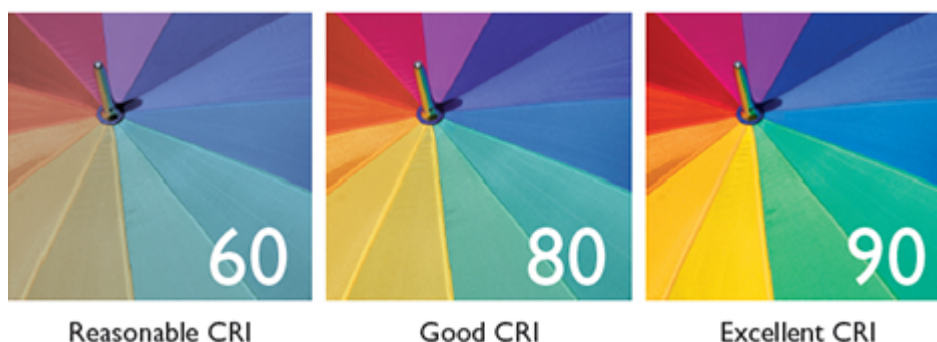


Obr. 1.4: Spektrum denního světla [4, s. 15]

1.3 Umělé zdroje osvětlení

Tato podkapitola se zabývá výběrem vhodného zdroje osvětlení. Pro toto použití je potřeba zdroj světla, který bude schopen měnit barvu světla resp. teplotu chromatičnosti a bude poskytovat dostatečnou míru osvětlení a co největší účinnost.

Důležitým parametrem při výběru zdroje světla je hodnota CRI, která určuje věrnost podání barevného vjemu lidským okem. Hodnota se udává v rozsahu $R_a = 0 - 100$, přičemž 100 je nejvěrnější podání [5]. Pro naše účely je vhodné použít zdroj s $CRI > 80$. Rozdíl mezi různými hodnotami CRI je zobrazen na obrázku 1.5.



Obr. 1.5: Hodnoty CRI [5]

1.3.1 Zdroje světla

Zdroje umělého světla se dělí dle způsobu vzniku záření na teplotní zdroje a zdroje záření vznikajícího luminescencí.

Teplotní záření

Teplotní záření vzniká zahřátím pevné látky (často wolfram) na vysokou teplotu a následným vyzářením světla. Do této kategorie spadají žárovky. Žárovka je složena ze skleněné baňky naplněné inertním plynem. Nevýhodou žárovek je jejich nízká účinnost, která se pohybuje kolem 10 % [6]. Dnes už se wolframové žárovky jako zdroj světla nepoužívají.

Halogenové žárovky jsou naplněny směsí inertního plynu a halogenu, které zvyšují účinnost [6]. Teplotní zdroje mají obecně velmi malou účinnost.

Luminescence

Jedná se o jev, kdy látka po vybuzení vyzařuje světlo. Látky schopné luminescence se nazývají luminofory. Mezi zdroje, u nichž záření vzniká luminescencí, patří výbojky, zářivky a LED [6][7].

Zářivky

Základní funkce zářivek spočívá v excitaci elektronů atomů plynu a jejich následné deexcitaci, při které se uvolní záření [7].

Nízkotlaká zářivka je skleněná trubice s elektrodami na obou koncích. Zářivka je naplněna rtuťovými parami a argonem nebo sodíkem. Sodíkové zářivky mají větší účinnost, ale září pouze oranžovým světlem. Rtuťové zářivky září modrým až fialovým světlem a vzniká v nich doutnavý výboj emitující ultrafialové záření. Toto záření absorbuje luminofor na stěnách trubice a sám vyzáří světlo ve viditelném spektru [6][7].

Výbojky

Výbojky (vysokotlaké zářivky) se skládají z křemenné trubice, která je naplněna plynem. Narozdíl od nízkotlakých zářivek je potřeba pro funkčnost vyšší napětí, ale na druhou stranu mají vyšší světelný tok. Používají se sodíkové a metalhalidové (halogenidové) výbojky. Halogenidové výbojky mají přirozeně bílou barvu. Zářivky a výbojky v dnešní době postupně ustupují. Používají se především jako venkovní osvětlení díky jejich vysokému měrnému výkonu a dlouhé životnosti [6][7].

LED

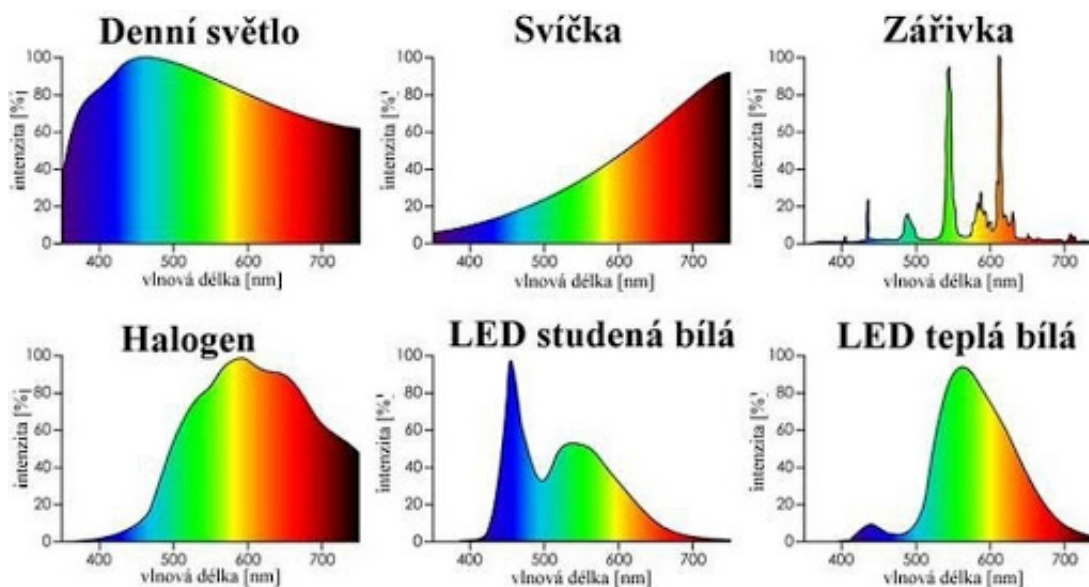
LED (light emitting diod) je dioda, která při průchodu elektrického proudu emituje světlo. Využívá se elektroluminescence polovodičových materiálů na PN přechodu. PN přechod je velmi tenká oblast v místě spojení polovodiče typu P a typu N. Polovodič typu P a N se liší koncentrací elektronů a děr. Po přivedení napětí elektrony z N přecházejí do typu P, kde rekombinují a část těchto rekombinací je zářivá [8, s. 14-15]. Barva záření diody je závislá na chemickém složení použitého polovodiče, teplotě a protékajícím proudem. Celá LED je zalitá do epoxidové pryskyřice, která upravuje úhel pod kterým šíří světlo a chrání LED před vlivy okolí. Vyzařovací úhel závisí na čočce z epoxidové pryskyřice, která láme a zesiluje světlo. Barva světla je závislá také na barvě pouzdra [9]. Napětí v propustném směru se pohybuje kolem 1-2 V, u modré LED 3-4 V. Velikost proudu v propustném směru je kolem 8-20 mA. Vyzařovací úhel je mezi 20°-120° [1, s. 42].

Typ zdroje světla	Halogenová žárovka	Zářivka	LED	LED pásek
Životnost [hodiny]	2000	20 000	50 000	50 000
Příkon [W]	28-100	8-30	2,5-60	12-30 W/m
Výkon [lm]	370-1800	1350-1600	250-5500	1100-3000
Světelná účinnost [lm/W]	24	50-100	55-200	55-200
Cena [Kč]	29-34	100-1000	100-700	180-600 Kč/m
CRI	95-100	65-80	85-95	85-95

Tab. 1.3: Orientační hodnoty parametrů různých typů zdroje světla (parametry zjištěny průzkumem trhu)

Světelný tok [lm]	Halogenová žárovka	Zářivka	LED
500	35 W	11 W	7 W
750	42 W	15 W	9 W
1300	70 W	23 W	15 W

Tab. 1.4: Výkonová spotřeba v závislosti na světelném toku [10]



Obr. 1.6: Spektrum zdrojů světla [11]

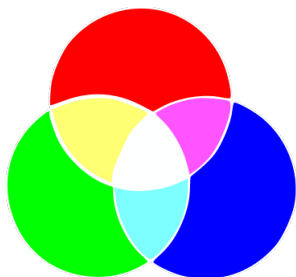
Srovnání

Na předchozích tabulkách je zobrazeno srovnání již zmíněných typů zdrojů světla. Parametry z tabulky 1.3 byly zjištěny průzkumem trhu.

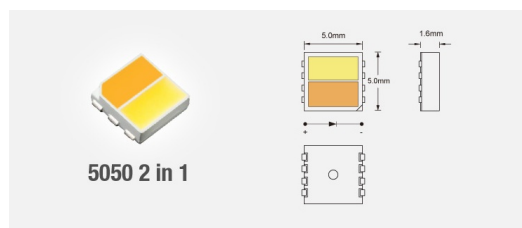
Ze srovnání je patrné, že tepelné zdroje světla (halogenová žárovka) mají velmi malou účinnost. Žárovky disponují větší účinností, ale jsou rozměrné, nekompaktní a nejsou vhodné k častému vypínání a zapínání. Spektrum světla žárovek není vhodné, jelikož obsahuje jen velmi malou část složek spektra. Jako nejvhodnější zdroj světla byl zvolen LED pásek, jehož spektrum barev je dostačující při kombinaci studené a teplé bílé (obrázek 1.6). LED pásek má zároveň vysokou účinnost a dlouhou životnost. Jeho parametr CRI se pohybuje v požadovaných mezích a poskytuje dostatečnou míru osvětlení.

1.3.2 RGB a CCT LED

RGB (red, green, blue) je barevný model pro aditivní míchání barev červená, zelená, modrá. Odstíny požadovaných barev jsou vytvářeny poměrem a mícháním těchto tří základních barev. Spojením všech tří barev v maximálním poměru dosáhneme barvy bílé. U LED lze tímto způsobem měnit barvu světla.



Obr. 1.7: Barevný model RGB

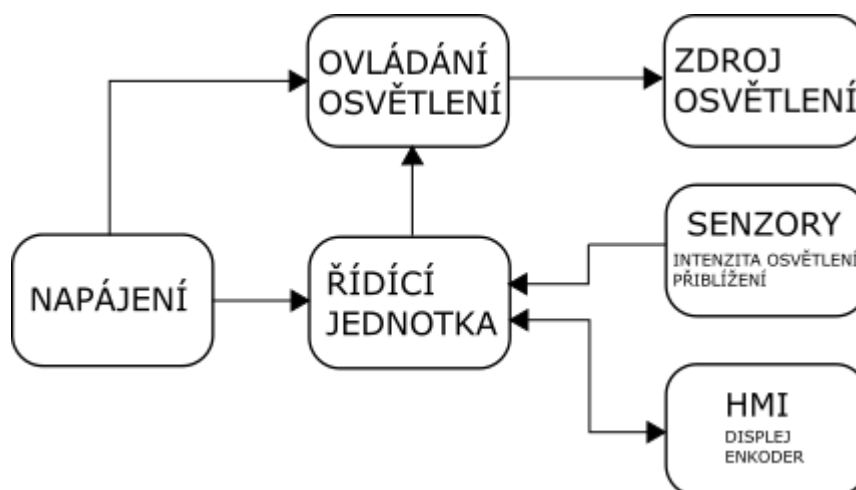


Obr. 1.8: CCT LED [14]

CCT je typ LED, u které lze měnit teplotu chromatičnosti. Skládá se z bílé (CW - cold white) a žluté (WW - warm white) LED v jednom pouzdře. Poměrem těchto dvou barev jsme schopni měnit teplotu chromatičnosti.

2 Hardware - Výběr komponent pro realizaci výrobku

Tato kapitola se zabývá srovnáním a výběrem potřebných komponent pro realizaci výrobku, způsobem regulace osvětlení a napájením.



Obr. 2.1: Zjednodušené blokové schéma zařízení

Na obrázku 2.1 je pro představu zobrazeno zjednodušené blokové schéma. Bloky budou popsány v této kapitole.

2.1 Parametry zdroje světla

Hlavním zdrojem osvětlení budou CCT LED pásy. Součástí bude i RGB LED pásek, který bude sloužit jako designové podsvícení. V následujících tabulkách jsou zobrazeny parametry konkrétních vybraných LED pásků.

Typ	Provozní napětí	Výkon	Teplota chromatičnosti	Světelný tok	CRI	Vyzařovací úhel
CCT	12 V	14,4 W/m	2700K-6500K	1350 lm	>93	120°
RGB	12 V	12 W/m	-	1200 lm	-	120°

Tab. 2.1: Parametry CCT Epistar 5050 [14] a RGB 5050 LED pásku

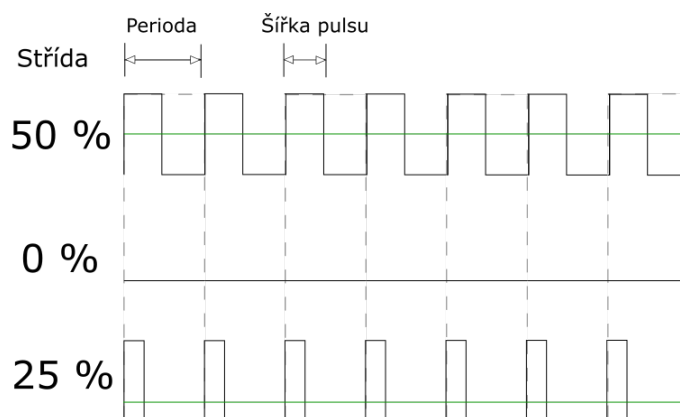
2.2 Ovládání LED

LED lze ovládat hned několika způsoby. Mezi dva nejčastější způsoby patří ovládání pomocí pulzní šířkové modulace a ovládání změnou proudu. V této kapitole bude popsán princip a srovnání obou způsobů a následně bude vysvětlena realizace vybraného způsobu ovládání.

2.2.1 Pulzní šířková modulace (PWM)

PWM z anglického Pulse Width Modulation je pulzní šířková modulace. Je to diskretní dvouhodnotový signál. V jedné periodě se mění šířka pulzu, čímž se mění střída signálu (duty cycle). Střidou signálu rozumíme poměr šířky pulzu a celkové délky periody (obrázek 2.2) [13].

K ovládání LED lze tedy použít pulzní šířkovou modulaci. Střída signálu určuje intenzitu osvětlení. Tento signál je přiváděn na G MOSFETu, který zajišťuje periodické spínání osvětlení. Dochází tedy k periodickému blikání LED, které při vyšších frekvencích lidské oko není schopno zaznamenat a jeví se jako souvislé světlo.



Obr. 2.2: PWM

2.2.2 Analogové ovládání - proudový zdroj

Proudový zdroj má takovou VA charakteristiku, která zajistí, že při jakémkoliv napětí na výstupních svorkách bude na výstupu konstantní proud. Ideální proudový zdroj má nekonečný vnitřní odpor. Reálný proudový zdroj se na části charakteristiky dokáže blížit vlastnostem ideálního zdroje.

Jednoduchý proudový zdroj vznikne například při připojení jednoho odporu k napětovému stabilizátoru, tento odpor definuje proud a přiváděné napětí definuje použitelný rozsah.

Míra osvětlení se ovládá nastavováním konstantního proudu procházejícího LED. Díky konstantnímu proudu, kterým je napájena LED, je světlo stabilní a stálé [15].

2.2.3 Srovnání

Hlavní výhodou použití PWM je velmi vysoká účinnost narušení od analogového ovládání, které podstatnou část energie přemění na tepelné ztráty. PWM také neovlivňuje výslednou barevnou teplotu při různých úrovních jasu, ale většinou vyžaduje větší výdaje spojené s přídavným obvodem pro vytvoření PWM průběhů. Frekvence PWM musí být dostatečně velká, aby lidské oko nebylo schopno zaznamenat blikání LED, což u analogového ovládání nemůže nastat. Výhodou analogového ovládání je také malé zatížení LED čipů a tím pádem i delší životnost. V mém případě, kdy bude použit procesor, který dokáže generovat PWM signály a realizace analogového ovládání by tak byla složitější, bylo vybráno ovládání LED pomocí PWM.

Procesor tedy dokáže generovat PWM, ale není možné z jeho pinů přímo spínat výkonové zátěže a z toho důvodu je potřeba přidat k ovládání spínací prvek. Jako spínací prvek jsem vybrala MOSFET.

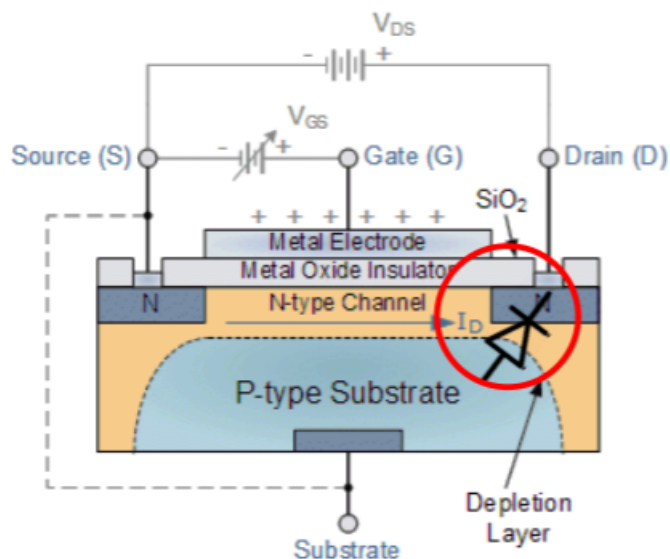
2.2.4 Unipolární tranzistor - MOSFET

MOSFET je unipolární tranzistor s izolovaným hradlem. Vedení se účastní pouze jeden druh nosiče - elektrony nebo díry. Skládá se ze tří elektrod: S (source), D (drain) a G (gate). Řídící elektroda G je oddělená izolační vrstvou (nejčastěji SiO_2). Dělí se na typ s N-kanálem a s P-kanálem a dále na MOSFET s indukovaným a zabudovaným kanálem [12, s. 27-28].

Po přivedení napětí mezi elektrody G a S (V_{GS}) začnou být elektrony přitahovány ke kladně nabitě elektrodě G a zároveň díry jsou přitahovány k elektrodě Substrate (obrázek 2.3). Při přivedení napětí na elektrody S a D (V_{DS}) jsou elektrony, které se nahromadili na elektrodě G, přitahovány na kladně nabitou elektrodu D a odpuzovány od záporně nabitě elektrody S, mezi těmito elektrodami se vytvoří kanál a tranzistor je otevřen. Pro plné otevření musí být napětí V_{GS} dostatečně velké, tj. větší než prahové napětí. Takto principiálně funguje N MOSFET s indukovaným kanálem.

U P MOSFETu jsou elektrody D a S připojeny na polovodič typu P a substrát je typu N. Pro otevření tranzistoru (vytvoření kanálu) se na řídící elektrodu G přivádí zápornější napětí než na elektrodu S. Vedení se účastní díry.

U MOSFETů s zabudovaným kanálem se vytvoří kanál již při nulovém napětí na elektrodě G a naopak se kanál zavře při přivedení správně polarizovaného napětí.



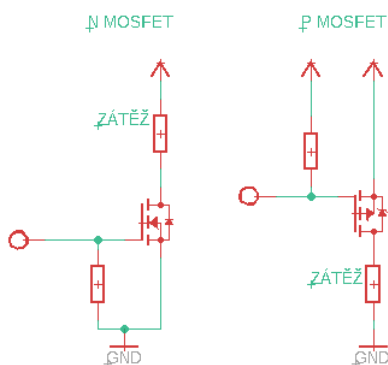
Obr. 2.3: Struktura N-MOSFET s indukovaným kanálem[12, s. 28]

Mezi substrátem a drainem vzniká PN přechod (tzv. body diode, tedy vnitřní dioda). Toho lze v některých zapojeních využít, ale často má i nežádoucí vliv, jelikož je tranzistor přes tuto diodu vodivý v opačném směru.

Při překročení maximálního napětí mez drain-source dojde k průrazu lavinovou ionizací a následným tepelným průrazem [12, s. 32–34].

2.2.5 MOSFET jako spínač

MOSFET v zapojení jako spínač se používá pro spínání velkého napětí mezi D-S menším napětím na G. Pro spínání se používají P i N MOSFETy. Použití se liší umístěním zátěže v obvodu.



Obr. 2.4: Zapojení spínače s N a P MOSFET

2.3 Senzory

2.3.1 Optický senzor překážky

Jak bylo zmíněno v úvodu, zařízení bude reagovat na přítomnost uživatele. Ke snímání objektu se mohou používat například kapacitní a indukční snímače, které však fungují pouze na velmi malou vzdálenost (v řádu desetin až jednotek milimetru). Na delší vzdálenosti lze použít ultrazvukový, mikrovlnný nebo optický snímač. Ultrazvukové snímače jsou z principu rozměrnější, jelikož potřebují například piezoměnič nebo nějaký jiný vysílač/přijímač a jeho rozměry jsou těmito měniči ovlivněny. Naproti tomu optické senzory používají jako vysílač například infračervené lasery a jako přijímač fotodiody, fototranzistory nebo CCD snímače, díky čemuž mohou mít malé rozměry. Z těchto důvodů byl vybrán optický senzor pracující na principu Time-of-flight. Tento princip a popis konkrétního senzoru je vysvětlen dále v kapitole.

Time-of-flight (TOF)

Senzor TOF pracuje na principu měření doby letu optického impulsu. Vysílač vyšle optický impuls, který se odrazí od překážky a letí zpátky k senzoru, kde ho zachytí přijímač. Měření lze rozdělit na impulzní režim (přímá metoda) nebo kontinuální režim. U impulzního režimu musí být rozlišení čítače v řádu ns, jelikož se světlo šíří velkou rychlostí (nákladné). Častěji se používá kontinuální režim - metoda amplitudové, fázové a frekvenční modulace nebo její kombinace. Měří se posun fází vyslaného a odraženého paprsku [22, s. 62].

VL53L1X

VL53L1X je optický senzor, který pracuje na principu Time-of-flight. Má oddělenou vysílací a přijímací čočku, což umožňuje funkčnost až na 4 m. Snímacím prvkem senzoru je CMOS, což je obrazový snímač [23, s. 15]. Senzor umožňuje nastavit například šířku snímacího laloku nebo vzdálenost na jakou je potřeba snímat. V typickém zapojení má 6 výstupů, dva na I2C komunikaci (viz. Řídící jednotka), napájecí piny a piny XSHUT a GPIO1. XSHUT pin slouží pro HW standby mode, což znamená, že pokud není detekována napěťová hladina na tomto pinu, tak senzor nekomunikuje (neměří). GPIO1 slouží jako interrupt pin, lze ho použít při detekci objektu (viz. Řídící jednotka).



Obr. 2.5: Senzor VL53L1X [23]

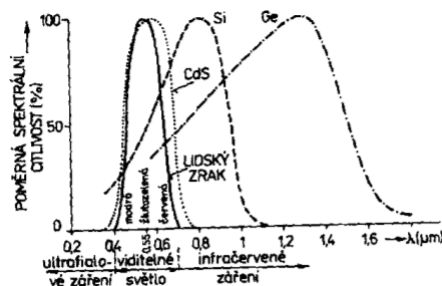
2.3.2 Senzor intenzity osvětlení

Pro snímání intenzity osvětlení lze použít fotorezistory, fotodiody, fototranzistory nebo například CCD snímače.

Fotorezistory jsou velmi citlivé, ale reagují se zpožděním. Fotodiody a fototranzistory reagují rychleji. Jelikož se nepředpokládají prudké změny osvětlení a zpoždění v řádu desítek milisekund nehrají velkou roli, byl vybrán jednoduše použitelný fotorezistor, jehož cena se pohybuje kolem jednotek korun.

Fotorezistor

Fotorezistor je polovodičový prvek (bez PN přechodu) obsahující polovodivý materiál. Vliv světla na materiál je popsán spektrální citlivostí. Používají se různé druhy materiálů, jako například PbS, PbTe, CdSe, atd. Nejběžnějším materiálem je CdS (Sulfid kademnatý), jelikož jeho spektrální citlivost je podobná oku. Odpor fotorezistoru je proměnlivý v závislosti na intenzitě osvětlení E , tato závislost je logaritmická. Za temna mají fotorezistory odpor v řádu $M\Omega$ až $G\Omega$ a při osvětlení v řádu stovek Ω . Jsou tedy velmi citlivé, ale jak již bylo zmíněno, reagují se zpožděním (CdS přibližně 100 ms). Velikost zpoždění závisí na technologii při zpracování [1, s. 18-24].



Obr. 2.6: Spektrální citlivost materiálů a oka [1, s. 18-24]

Fotorezistor lze použít v můstkovém zapojení nebo v napěťovém děliči. Můstkovým zapojením jsme schopni eliminovat vliv teploty na odpor. Intenzitu vyhodnocujeme změnou napětí na fotorezistoru. Čím větší je napětí na fotorezistoru, tím nižší je intenzita osvětlení.

2.4 HMI

Human machine interface je rozhraní člověk-stroj, tzn. souhrn, zprostředkování a zobrazení dat uživateli. Zahrnuje ovládací prvky, jako jsou například tlačítka, dotykový displej apod.

Pro zobrazení aktuálního stavu osvětlení bude sloužit displej. Pro pohyb na displeji je možné použít například tlačítka nebo enkodér. S přihlédnutím na použití ovládacího prvku zakomponovaného v rámečku je vhodnější volbou enkodér. V této kapitole bude popsán princip a srovnání displejů, které se využívají v embedded aplikacích a následně bude vysvětlen princip enkodéru.

2.4.1 Displej

LCD (Liquid Crystal Display)

Displej tekutých krystalů - jde o podlouhlé molekuly orientované v jednom směru (tzv. nematické uspořádání). Tyto molekuly se v závislosti na přiváděném napětí natáčejí a určují tak množství procházejícího světla. Typy LCD displejů a jejich výhody a nevýhody jsou zobrazeny v tabulce 2.2.

	Výhody	Nevýhody
TFT-TN	jednoduchá technologie nízká cena dnes existují i rychlejší typy	velká ztrátovost světla nelze vytvořit dokonale černou barvu při poškození pixelu trvale svítí
TFT-IPS	věrné barvy a široké pozorovací úhly při změně úhlu nedochází ke změně odstínů barev	na okrajích se část molekul plně neotáčí - způsobuje nižší jas a kontrast při poškození zůstává tmavý bod.
MVA	velmi dobré pozorovací úhly dobré podání barev kvalitní podání černé barvy dobrý kontrast	průměrná doba odezvy

Tab. 2.2: Výhody a nevýhody LCD displejů [24]

Typ displeje	TFT->TN	TFT->IPS	MVA
Pozorovací úhly	140°	170°	170°
Kontrast	400:1	300:1	600:1
Odezva	16-30 ms	20-60 ms	8-50 ms

Tab. 2.3: Parametry LCD displejů [25]

OLED (Organic LED)

Struktura OLED se skládá z metalické katody a transparentní anody, mezi nimiž je několik vrstev organického materiálu. Jsou to například HTL (hole transport layer), ETL (electron transport layer) a emisivní vrstva. Při připojení napětí dochází k elektroluminescenci v emisivní vrstvě. Vrstvy mají za úkol dosáhnout co největší účinnosti v propustném směru. Existují dva typy OLED displejů, AMOLED (Active-matrix OLED) a PMOLED (Passive-matrix OLED) displeje [26, s. 2-3].

Výběr displeje

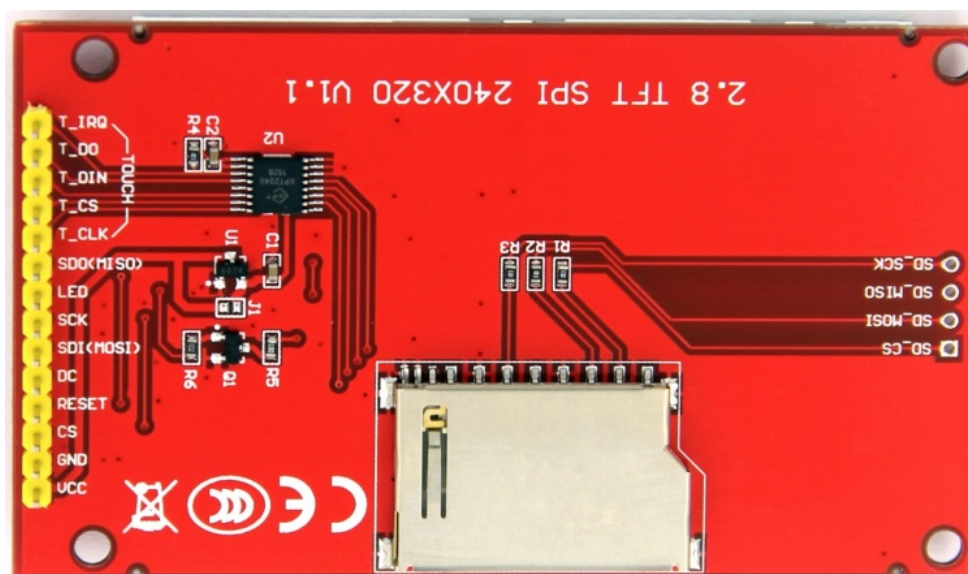
LCD vs OLED

LCD displeje potřebují podsvícení, zatímco OLED obrazovky svítí samy o sobě, čímž jsou energeticky méně náročné. U LCD lze regulovat úroveň podsvětlení pro celý panel, narozdíl od OLED, kde je možno ovládat každý pixel zvlášť. OLED mají lepší podání černé barvy i lepší kontrast, ale pro embedded systémy se převážně vyrábí jen s několika barvami pro zobrazení. LCD jsou výrazně levnější. Vzhledem k ceně displejů a možnosti plného barevného zobrazení jsem zvolila LCD displej.

Parametry zvoleného displeje

Zvolila jsem TFT LCD displej s uhlopříčkou 2.8 palců. Displej je řízen čipem ILI9341 s integrovanou RAM pamětí o velikosti 172 800 bytů, která slouží pro zobrazování grafických dat. Displej má rozlišení 320x240 bodů s podporou plného barevného zobrazení (65 tisíc barev). Vyrábí se ve verzi s dotykovým displejem nebo bez. Pro komunikaci slouží SPI sběrnice (viz Řídící jednotka). Proudový odběr displeje se pohybuje kolem 100 mA [36].

Na obrázku 2.7 je zobrazen tento displej s piny. Piny VCC a GND slouží pro napájení. Displej je možno napájet napětím 3,3 nebo 5 V. Piny MOSI, MISO, SCK a CS slouží pro komunikaci. RESET obnovuje displej (logickou nulou) a DC slouží k volbě mezi posíláním/přijímáním dat nebo ke komunikaci s registrem. Pin LED řídí podsvícení displeje, kterými jsou bílé LED. Zbylé piny slouží pro dotyk.



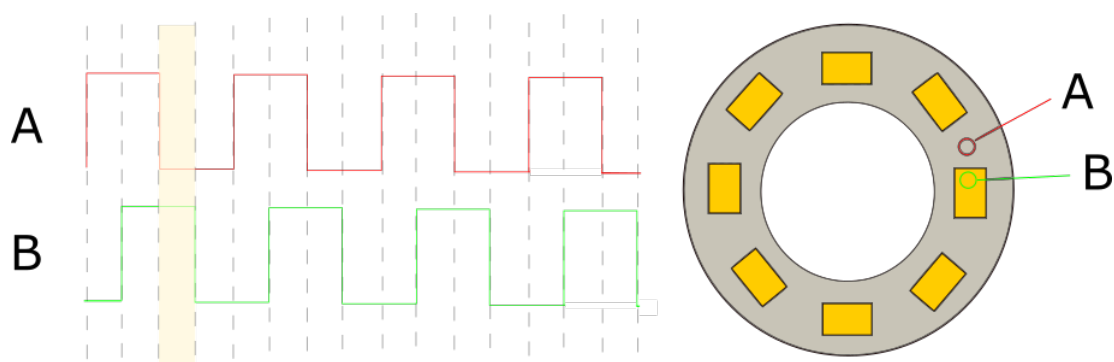
Obr. 2.7: LCD TFT displej ILI9341 [37]

2.4.2 Enkodér

Rotační enkodér vypadá podobně jako potenciometr, ale nemá mechanicky přesně stanovenou dráhu jezdce (hřídele) a pracuje s digitálními signály (impulzy). Někdy obsahuje i tlačítko při stlačení hřídele.

- Absolutní enkodéry - generují unikátní kódy
- Inkrementální enkodéry - generují pulzy

Podle počtu tiků (pulzů při otočení hřídele) vysílá na své výstupní svorky dva pulzní signály, kdy jeden je od druhého fázově posunut v závislosti na umístění snímačů polohy hřídele uvnitř enkodéru. Tímto lze softwarově určit směr otáčení a počet pulzů.



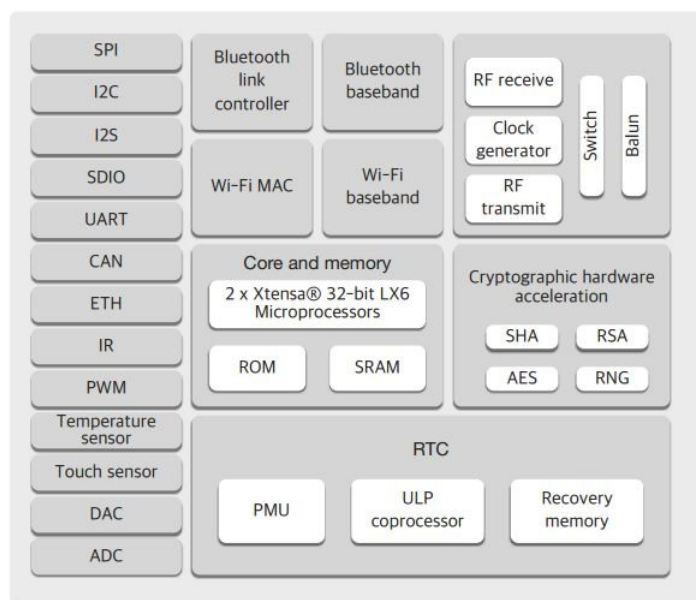
Obr. 2.8: Princip enkodéru

2.5 Řídící jednotka

Řídící jednotka má za úkol řídit vstupní a výstupní periferie a zajišťovat jejich komunikaci. Vstupními a výstupními perifériemi jsou LED, displej, senzor přiblížení a intenzity osvětlení, enkodér a měření baterie. Displej komunikuje přes SPI sběrnici a senzor přiblížení přes I2C sběrnici. Snímání intenzity osvětlení a měření baterie je zajištěno analogovými vstupy díky A/D převodníku, kterým je jednotka vybavena. Jako řídicí jednotka byl vybrán mikrokontrolér ESP32 ve verzi DevKit V1. Specifikace a parametry tohoto mikrokontroléru jsou popsány v této kapitole a zároveň jsou nastíněny principy komunikace.

2.5.1 ESP32

ESP32 je malý mikrokontrolér s dvoujádrovým procesorem s dvěma Harvardskými architekturami. Obě tyto jádra (PRO_CPU, APP_CPU) jsou symetricky namapována do stejného paměťového prostoru, což znamená, že například mohou používat stejnou adresu registru [27]. Frekvence procesoru je mezi 80 až 240 MHz. Má integrovanou 448kB ROM, 520kB SRAM a 4MB Flash paměť (pro program a data). Zároveň má i integrovanou WiFi a podporuje klasické i low energy Bluetooth [28]. ESP32 vyžaduje napájecí napětí 3.3 V a pracuje s 3.3V logikou pro komunikaci. Lze ho napájet i vyšším napětím, ale pouze přes interní stabilizátor napětí s pevným výstupem 3,3 V.



Obr. 2.9: Blokový diagram ESP32 [27]

A/D převodník

ESP32 má dva 12-bitové A/D převodníky, které zajišťují všech 15 analogových pinů. Převodník ADC1 je připojen k šesti pinům (32-36, 39) a ADC2 k devíti (2,4, 12-15, 25-27). ADC2 je však používán Wi-Fi ovladači a pokud nejsou tyto ovladače vypnuté, nelze převodník používat [30].

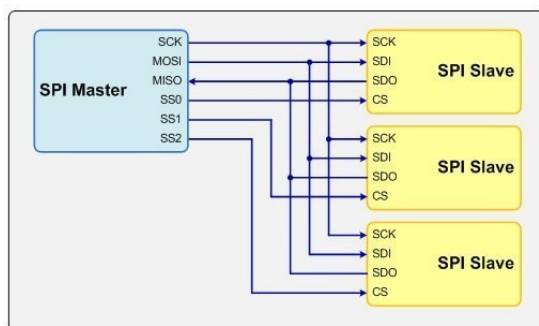
A/D převodníky pracují v rozmezí napětí 0-1 V. Pokud je měřeno vyšší napětí než je referenční, je potřeba ho utlumit. Útlum lze softwarově nastavit a defaultně je nastaveno na hodnotu 0 dB. Čím vyšší útlum je nastaven, tím je měření více nepřesné. Velikost útlumu závisí na velikosti měřeného napětí (viz tabulka 2.4).

Útlum [dB]	Rozsah napětí [mV]
0	100 - 950
2.5	100 - 1250
6	150 - 1750
11	150 - 2450

Tab. 2.4: Útlum A/D převodníku v závislosti na měřeném napětí [30]

2.5.2 SPI

SPI (serial peripheral interface) je synchronní sběrnice. Ke sběrnici jsou připojeny dva typy zařízení - master a slave. Komunikaci zajišťují 4 vodiče, MOSI, MISO, CS, SCK. Master generuje hodinový signál a zahajuje komunikaci. V rytmu hodinového signálu jsou z posuvného registru masteru vysouvány bity a nasouvány do posuvného registru slave (MOSI). Současně jsou bity vysouvány z posuvného registru slave a nasouvány do posuvného registru master (MISO). CS slouží k aktivování slave zařízení, se kterým má master komunikovat.



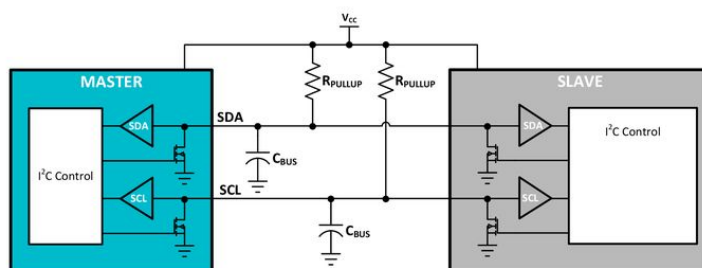
Obr. 2.11: Blokový diagram SPI [31]

2.5.3 I2C

I2C je synchronní sběrnice, ke které jsou připojeny dva typy zařízení - master a slave. Ke sběrnici je možno připojit více zařízení, jak typu slave (multiple slave), tak typu master (multiple master). Ke komunikaci (přenosu dat mezi zařízeními) slouží dva vodiče SDA a SCL. SDA (Serial data) slouží pro přenos dat a SCL (Serial clock) slouží pro hodinový signál.

I2C komunikace používá otevřený kolektor se vstupním bufferem, který umožňuje komunikaci v obou směrech. Každé zařízení může pomocí tranzistoru stáhnout sběrnici na logickou nulu. Pokud zařízení chce posílat HIGH úroveň, zavře tranzistor, nechá sběrnici bez zásahu a pull-up rezistor ji vytáhne na vysokou úroveň [32].

I²C Interface: General Operations

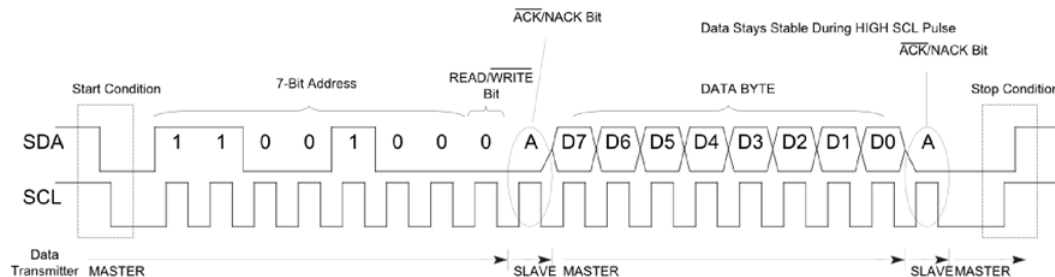


14

TEXAS INSTRUMENTS

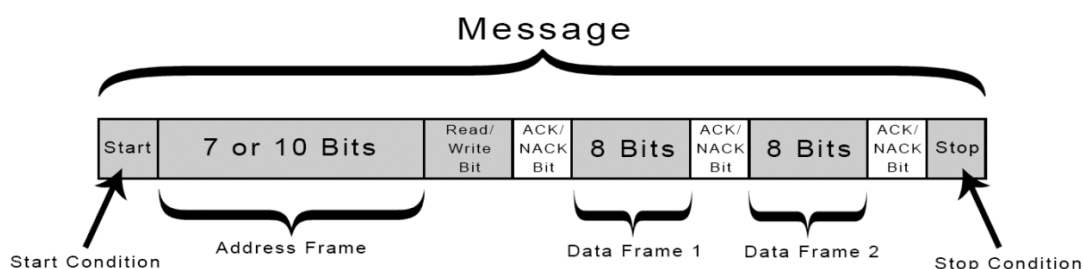
Obr. 2.12: Struktura SDA/SCL vodiče[34]

Komunikace probíhá v rytmu hodinového signálu, kdy jsou data posílána z masteru do slave nebo obráceně. Proces komunikace probíhá následovně: pokud chce master posílat data do slave, pošle START condition včetně adresy slave zařízení, kterému se data budou posílat. Následně začne master posílat datové rámce a po každém datovém rámci přijme master od slave ACK/NACK bit, který určuje, jestli byl datový rámec úspěšně přijat. Po poslání posledního datového rámce odešle STOP condition, čímž ukončí komunikaci. Pokud chce master přijímat nebo číst data ze slave, opět pošle START condition včetně adresy slave zařízení, ze kterého se data budou přijímat/číst. Následně odešle požadovaný registr, který chce číst a poté začne přijímat data ze slave po datových rámcích opět následovaných ACK/NACK bitem. Generováním STOP condition se ukončí komunikace [32].



Obr. 2.13: Posílání I2C zprávy z masteru do slave [33]

Formát I2C zprávy



Obr. 2.14: Formát I2C zpráv [35]

Start Condition: SDA signál přechází z LOW na HIGH, předtím než SCL přejde z HIGH na LOW.

Stop Condition: SDA přechází z LOW na HIGH, potom co SCL přejde LOW na HIGH.

Address Frame: obsahuje 7-10 bitů, každý připojený slave má svoji adresu pro identifikaci při posílání zpráv.

Read/Write Bit: jeden bit, který určuje jestli bude master data posílat (LOW) nebo přijímat (HIGH)

ACK/NACK Bit: po každém rámcí následuje acknowledge/no-acknowledge bit, pokud není rámeček (adresový nebo datový) úspěšně přijat, pošle přijímač vysílači NACK bit (HIGH), pokud je úspěšně přijat sběrnice, zůstává na LOW (ACK).

2.5.4 Alternativy

Možnými alternativami místo ESP32 by mohl být například předchůdce ESP8266 nebo také moduly s čipy AtMega, jako jsou Arduino Uno, Nano nebo Mega.

Čipy ATMega pracují s 5V logikou narozdíl od ESP, které pracují s 3,3V logikou. Ve sleep módu mají ESP mnohem menší výkonovou spotřebu a také mají 4MB Flash paměť narozdíl od ATMega, které ji mají v desítkách kB. Arduino Uno a Mega jsou oproti ostatním rozměrnější. Srovnání parametrů je zobrazeno v tabulce 2.5.

	ESP32	ESP8266	Arduino Nano	Arduino Uno R3	Arduino Mega
Pracovní napětí [V]	3,3	3,3	5	5	5
Proudová spotřeba [mA]	20-240	15-400	19-180	45-80	50-200
Odběr Deep Sleep [μ A]	5	0.5	23	35 000	500
PWM piny	36	16	6	6	15
Analogové piny	15	1	8	6	16
SPI/I2C/UART	4/2/2	2/1/2	1/1/1	1/1/1	1/1/4
Proudové zatížení na I/O pin [mA]	20	12	40	40	20
Flash paměť	4 MB	4 MB	32 kB	32 kB	256 kB
WiFi	ano	ano	ne	ne	ne
Bluetooth	ano	ne	ne	ne	ne

Tab. 2.5: Srovnání mikročipů [38]

ESP32 má dostatek PWM i analogových pinů, má integrovanou Wi-Fi i Bluetooth, velmi malou spotřebu v deep sleep módu a malé rozměry. Z těchto mikroprocesorů, které se pohybují v podobné cenové relaci, je ESP32 nejlepší volbou.

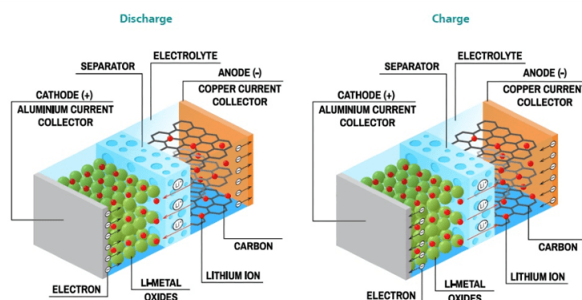
2.6 Napájení

Zařízení bude primárně napájeno ze zdroje. V případě, že zdroj nebude připojen, bude se zařízení napájet z akumulátoru. Při připojeném zdroji se zároveň akumulátor bude nabíjet přes nabíječku.

2.6.1 Akumulátory

Li-Ion

Lithium-iontový akumulátor je složen z katody, anody, separátoru a elektrolytu. Katoda je tvořena oxidem kovu, anoda je uhlíková. Separátor odděluje elektrody a je v něm napuštěn elektrolyt. Elektrolyt je bezvodé organické rozpouštědlo. Při vybíjení článku přenáší elektrolyt pozitivně nabité ionty lithia z anody na katodu, což vytvoří volné elektrony na anodě, díky kterým se vytvoří náboj na kladném pólu baterie a dochází k toku elektrického proudu do spotřebiče. Při nabíjení se naopak přenášejí lithiové ionty z katody na anodu. Tento proces je vratný, nedochází k reakci mezi elektrolytem a elektrodou, což zajišťuje dlouhou životnost. Li-Ion články se běžně vyrábí v cylindrickém pouzdře [16].



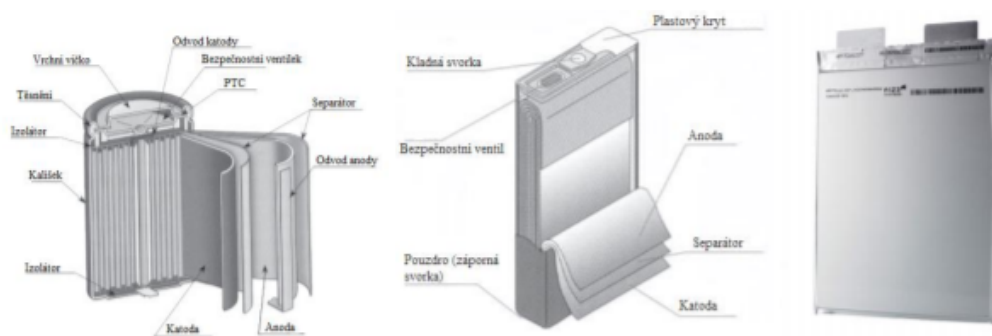
Obr. 2.15: Nabíjení a vybíjení akumulátoru Li-Ion [17]

Li-pol

Lithium-ion polymer akumulátor je založen na technologii Li-Ion, ale má rozdíl od tekutého elektrolytu polymerový (polotuhý-gelový) elektrolyt. Li-pol články mohou být vyráběny v menších (užších) pouzdrech a také ve flexibilních fóliových pouzdrech. Li-ion články potřebují tuhé pouzdro aby elektrody držely pohromadě, rozdíl od Li-Pol článků, které používají pláty naskládané na sobě. Li-pol články jsou nástupci Li-ion článků a liší se především větší kapacitou na hmotnost a jsou schopny vyšších zatěžovacích proudů. Rozdílná je i cena, která je u Li-Pol článku citelně vyšší, především kvůli náročnější výrobě. Li-pol články se běžně vyrábí v prismatických a pouch pouzdrech [18].

Konstrukce akumulátorů

- Válcová (cylindrická) - jednoduchá na výrobu, mechanická stabilita, dlouhá životnost, ekologická
- Hranolová (prismatická) - kompaktní velikost, nákladná na výrobu, kratší doba životnosti, problematická regulace teploty
- Pouzdrová (pouch) - místo kovu jsou připojeny na elektrody vodivé úchytky – šetří prostor a hmotnost, postupné nafukování baterie při používání [16]



Obr. 2.16: Konstrukce akumulátorů [16]

Srovnání a výběr akumulátoru

Typ článku	Li-Ion	Li-Pol
Nominální napětí	3.7 V	3.7 V
Napětí	3-4.2 V	3-4.2 V
Nabíjecí proud	1 C	1 C
Vybíjecí proud	1 C	1 C (u běžných)
Počet cyklů	500-1000	500-1000
Teplotní podmínky	-40-70 °C	-40-80 °C
Samovybitení	5-10 %/měsíc	5-10 %/měsíc
Vnitřní odpor	<100 mΩ	<50 mΩ
Kapacita na hmotnost	nižší	vyšší
Kapacita na objem	vyšší	nižší

Tab. 2.6: Parametry akumulátorů [19]

Na trhu jsou dále například NiMH a NiCd akumulátory, které ale nedosahují tak dobrých parametrů jako Li-Ion nebo Li-Pol. Li-Pol akumulátory jsou jedny z

nejlepších akumulátorů na trhu pro embedded aplikace. Výhodou je možnost velkého proudového odběru, velké kapacity a prismatické pouzdro. Pro tuto aplikaci jsem tedy zvolila jednočlánekový Li-Pol akumulátor. Parametry vybraného akumulátoru jsou zobrazeny v tabulce 2.7.

Kapacita	8 000 mAh
Nominální napětí	3.7 V
Doporučený vybíjecí proud	1 C (8 A)
Maximální nabíjecí proud	1 C
Standartní nabíjecí proud	0.5 C
Standartní nabíjecí doba	2 - 4 h

Tab. 2.7: Parametry akumulátoru LiPol 126090

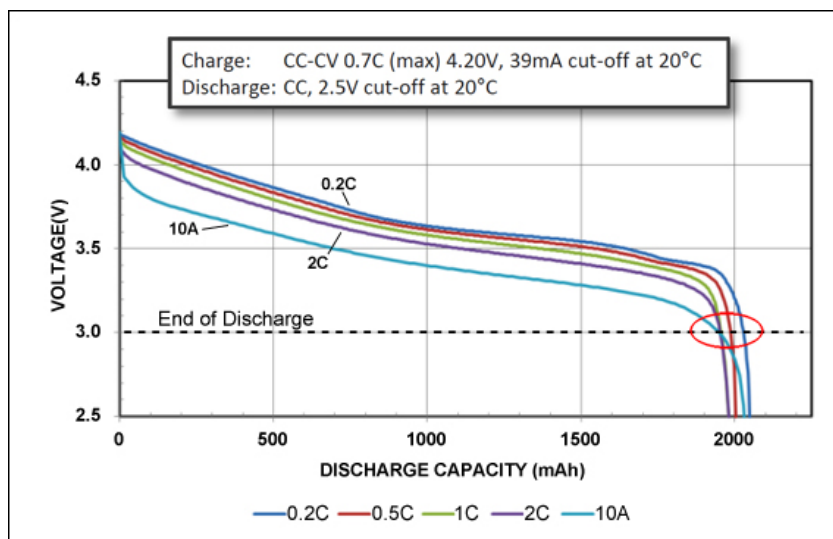
Nabíjení a vybíjení akumulátoru

C-rate

Nabíjení a vybíjení akumulátoru je udáváno v C-rate (Charge rate). Pokud má plně nabitý akumulátor kapacitu 1000 mAh, je schopen při vybíjecím proudu 1 C dodat 1 A po dobu jedné hodiny. Pokud je vybíjecí proud 0.5 C, je schopen dodávat 500 mA po dobu dvou hodin. [45]

Vybíjení

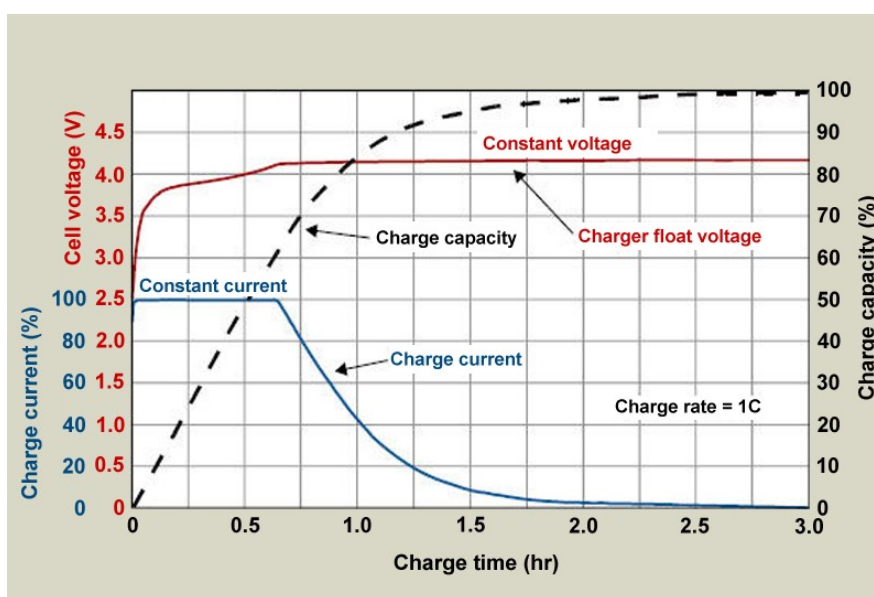
LiPol jednočlánekové akumulátory se dají vybit až na hodnotu 3 V, ale kvůli jejich životnosti je dobré je vybit na hodnotu kolem 3,5 - 3,4 V. Na obrázku 2.17 je zobrazena charakteristika vybíjení jednočlánekového akumulátoru o kapacitě 1950 mAh. Vybíjecí charakteristika je závislá na velikosti vybíjecího proudu. Charakteristiky mají do určité hodnoty napětí téměř lineární průběh, ale při hodnotách kolem 3,4 - 3,3 V začne charakteristika strmě klesat dolů, z tohoto důvodu není dobré akumulátory vybit až na 3 V.



Obr. 2.17: Charakteristika vybíjení akumulátoru [41]

Nabíjení

Akumulátor je doporučeno nabíjet maximálně na hodnotu 1 C. Není potřeba je nabíjet doplna, spíše naopak, jelikož jsou citlivé na přebití. Akumulátory mohou mít navíc i ochranné obvody proti přebití, podvibití a další. Nabíjecí charakteristika akumulátoru je zobrazena na obrázku 2.18. Lithiové akumulátory se nabíjí metodou CC/CV (Constant Current followed by Constant voltage). Nejdříve se akumulátor nabíjí konstantním proudem do té doby, než dosáhne požadovaného napětí 4.2 V (rychlé nabíjení), poté přejde nabíječka do režimu konstantního napětí (pravá část charakteristiky), nabíjení se zpomaluje a proud postupně klesá [44].



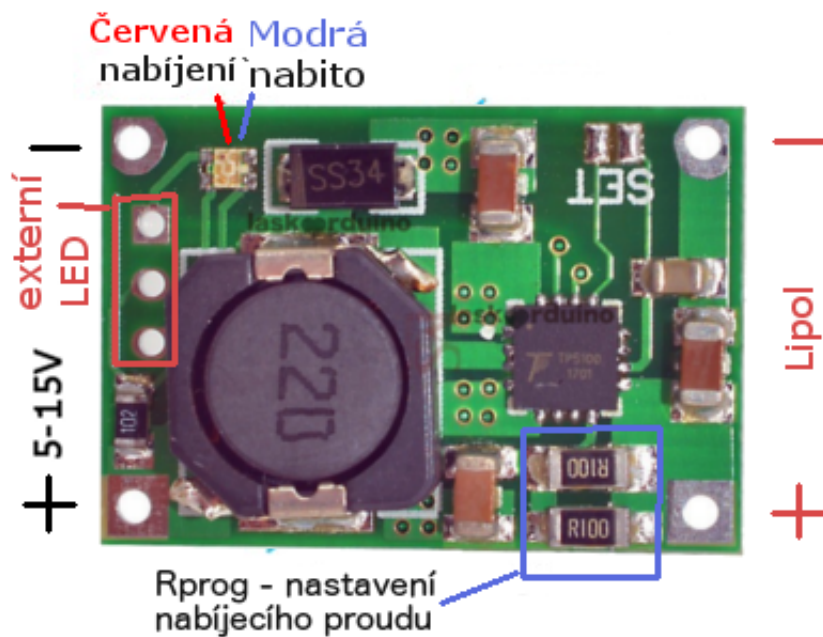
Obr. 2.18: Charakteristika nabíjení akumulátoru [44]

Nabíjecí obvod

Jako nabíječku jsem vybrala modul s TP5100. Tento nabíjecí modul lze napájet napětím v rozmezí 5-18 V a má na vstupu integrovanou ochranu proti zkratování, podpětí a nadproudu. Akumulátor se začne nabíjet, pokud napětí na něm klesne na 4.05 V. Lze ho nabíjet konstantním proudem 0,1-2 A, který je možno nastavit hodnotou rezistoru. Akumulátor se nabíjí na hodnotu 4.2 V s přesností 1 %. Modul nabíjí metodou CC/CV [42].

Modul také umožňuje připojení dvou sériově spojených článků, ale neřeší balancování (rovnoměrné vybíjení a nabíjení akumulátoru).

Vybraný akumulátor má kapacitu 8000 mAh. Touto nabíječkou lze nabíjet maximálním proudem 2 A, což odpovídá 0.25 C. Je nutno počítat s dlouhou dobou nabíjení (cca 4-5 h), což ale vzhledem k použití výrobku není velkou překážkou. Pokud by nabíječka dodávala vyšší nabíjecí proud, bylo by nutné použít zdroj s vyšším výkonem. Z tohoto důvodu jsem spíše volila pomalejší nabíjení.



Obr. 2.19: Nabíjecí modul s TP5100 [43]

2.6.2 DC/DC měniče - step up, step down

Zdroj má napětí 5 V. Akumulátor má nominální hodnotu 3.7 V, ale pohybuje se v rozmezí 3.5-4.2 V. Pro napájení ESP32 a displeje je možno použít 5 nebo 3.3 V. Vzhledem k tomu, že je lepší napětí snižovat než zvyšovat (kvůli velikosti proudového odběru), použije se pro napájení ESP32 a displeje 3.3 V. LED osvětlení požaduje napájecí napětí 12 V.

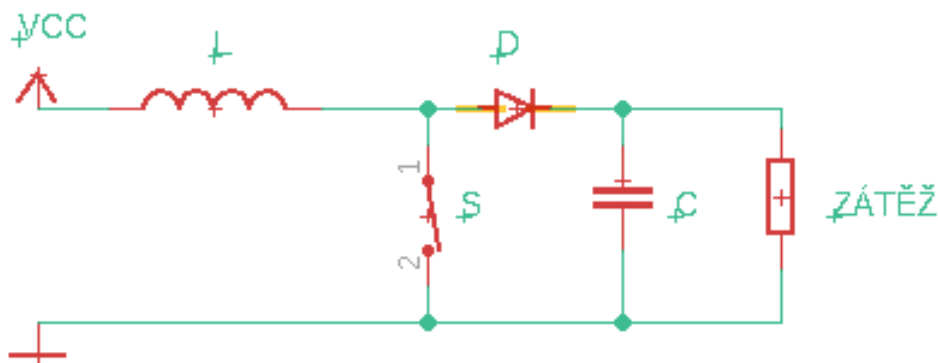
Pro napájení komponent je tedy potřeba snižovat či zvyšovat napětí, k čemuž budou sloužit DC/DC měniče. Princip a výběr DC/DC měničů je popsán v této kapitole.

Step-Up

Step-up bude použit pro zvyšování napětí pro LED pásy ze zdroje nebo z akumulátoru na 12 V.

Princip step-up

Pokud je spínač S sepnutý, proud teče ze zdroje přes cívku, ve které se akumuluje energie. Zátěž je napájena z kondenzátoru a dioda D je zavřená. Ve chvíli, kdy se spínač rozezne, polarita cívky se změní a stává se z ní zdroj, který je sériově spojený se zdrojem VCC. Kondenzátor C se nabije na výstupní napětí a to samé napětí je na zátěži. Výstupní napětí je v ideálním případě dáno součtem obou zdrojů, reálně musíme počítat se ztrátou na diodě a cívce. Jako spínač se používá rychlý tranzistor, který je podle potřeby řízený mikročipem nebo oscilátorem. Frekvence spínání bývá v řádu kHz až MHz. Velikost výstupního napětí je závislá na střídě. Čím delší je doba sepnutí spínače S, tím větší bude na výstupu napětí [20].



Obr. 2.20: Blokové schéma Step-Up

Výběr step-up

Pro napájení LED jsem vybrala step-up s čipem MT3608. Parametry tohoto měniče jsou zobrazeny v tabulce 2.8.

Parametry	Hodnoty
Vstupní napětí [V]	2 - 24
Výstupní napětí [V]	2 - 28
Maximální proudové zatížení [A]	4
Maximální proudový odběr [A]	2 (doporučeno 1)
Spínací frekvence [MHz]	1.2

Tab. 2.8: Parametry step-up MT3608 [39]

Maximální doporučený proudový odběr je u tohoto měniče 1 A. Výpočet maximálního proudového odběru LED pásků je proveden v následujících rovnicích.

Výkon jednotlivých LED pásků

CCT LED - 0,5m, 14,4 W/m

$$P_{CCT} = 14,4 \cdot 0,5m = 7,2 \quad [W] \quad (2.1)$$

RGB LED - 0,2 m, 12 W/m

$$P_{RGB} = 12 \cdot 0,2m = 2,4 \quad [W] \quad (2.2)$$

Celkový výkon bude roven

$$P_{LED} = P_{CCT} + P_{RGB} = 7,2 + 2,4 = 9,6 \quad [W] \quad (2.3)$$

Z čehož vyplývá maximální proudový odběr

$$I_{REQ} = \frac{P_{LED}}{U_{LED}} = \frac{9,6}{12} = 0,8 \quad [A] \quad (2.4)$$

Vybraný step-up tedy splňuje požadavky na proudový odběr. Zároveň splňuje i velikost vstupního a výstupního napětí.

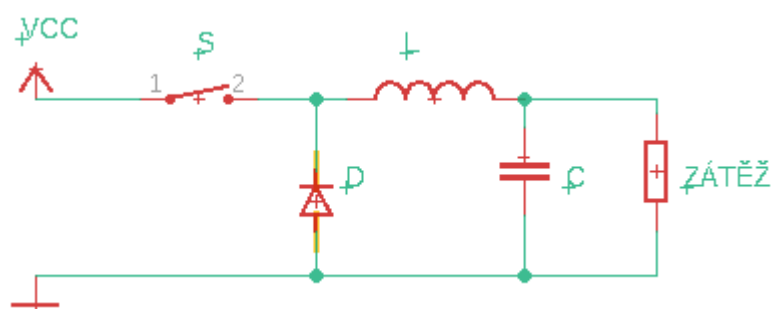
Tento step-up je dostupný, za přijatelnou cenou a jeho rozměry jsou menší, než jiné měniče splňující stejné parametry.

Step-down

Step-down bude použit pro snižování napětí pro ESP32 ze zdroje nebo akumulátoru.

Princip Step-down

Pokud je spínač S sepnutý, prochází cívkou proud do kondenzátoru a zátěže. Po rozepnutí spínače se polarita cívky obrátí a stává se z ní zdroj. Dioda polarizována v závěrném směru umožňuje nabíjení kondenzátoru a napájení zátěže při rozeplém spínači. Výsledné napětí je potom dáno obdobně jako u PWM střídou signálu. Frekvence spínání se pohybuje ve stejných řádech jako u step-up měničů [20][21].



Obr. 2.21: Blokové schéma Step-Down

Výběr Step-down

Pro napájení ESP32 jsem vybrala místo step-down měniče step-up/step-down měnič, jelikož napětí na akumulátoru může klesnout až na 3.5V, což je pro většinu step-down měničů málo a vyžadují minimální vstupní napětí kolem 5 V. Tento problém řeší již zmíněný step-up/down měnič, který má velký rozsah vstupního napětí. Konkrétně jsem vybrala měnič S9V11F3S5. Jeho parametry jsou zobrazeny v následující tabulce.

Parametry	Hodnoty
Vstupní napětí [V]	2 - 16 (3 při zapnutí)
Výstupní napětí [V]	fixně 3,3 (může být nastaveno na 5)
proudový odběr [A]	typicky 1,5
Velikost [mm]	12,7x15,3

Tab. 2.9: Parametry step-up/down S9V11F3S5 [40]

S rezervou má ESP32 se všemi komponenty (senzory, displej, ovládání LED) odběr kolem 1 A, což vybraný měnič splňuje. Zároveň splňuje i požadované minimální vstupní napětí 3.5 V s fixním výstupem 3.3 V. Jeho cena je narozdíl od běžných

step-down měničů vyšší, jelikož má náročnější provedení. Jinou možnou alternativou by mohlo být použití levného lineárního regulátoru, který má ale oproti těmto měničům velmi malou účinnost. S přihlédnutím na tento fakt jsem vybrala step-up/down měnič.

2.6.3 Zdroj

Vzhledem k vybranému jednočlánkovému akumulátoru s nominálním napětím 3.7 V a k vybrané nabíječce, jsem zvolila zdroj s referenčním napětím 5 V. Potřebný výkon zdroje je dán spotřebou zařízení. Odběr LED pásků ze zdroje je dán rovnicí (2.5).

$$I_{LED} = \frac{P_{LED}}{U_{Batmin}} = \frac{9.6}{3.5} = 2.74 \quad [A] \quad (2.5)$$

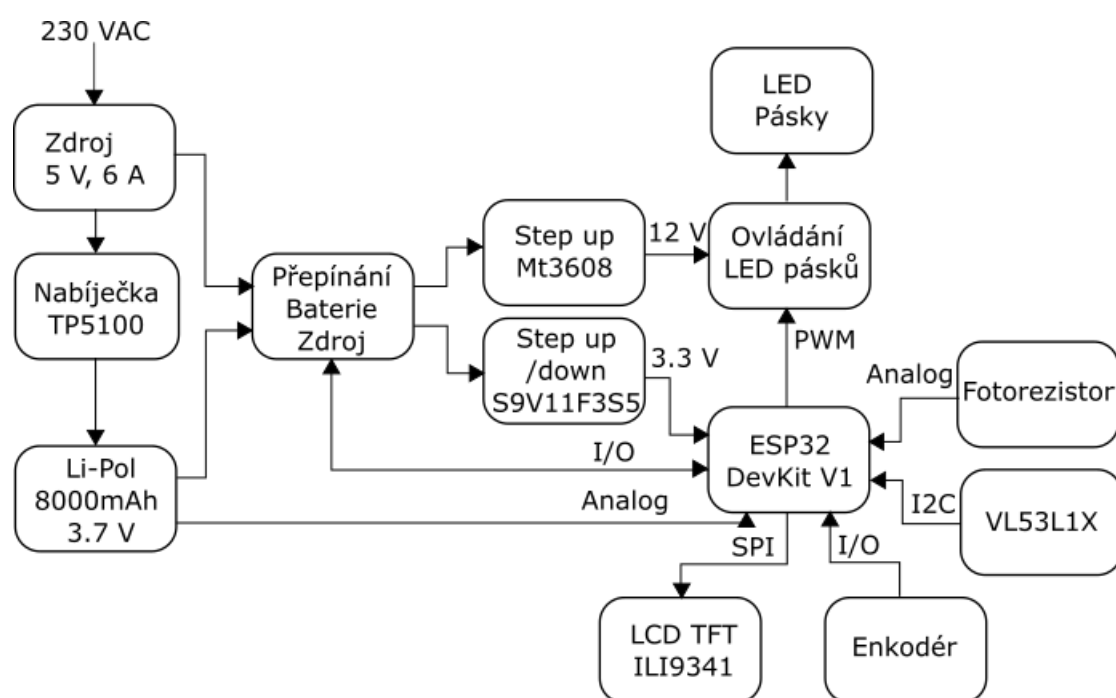
Proudový odběr ESP32 s komponenty nepřekročí hodnotu 1 A. Nabíjení baterie bude mít odběr 2 A.

$$I = I_{LED} + I_{ESP} + I_{CHARGER} = 2.74 + 1 + 2 = 5.74 \quad [A] \quad (2.6)$$

Vzhledem k tomu, že LED pásky nebudou vždy odebírat maximální výkon a odběr ESP32 s komponenty bude většinou spíše poloviční, zvolila jsem zdroj, který je schopen dodat 6 A.

3 Hardware - Návrh zapojení

V předchozích kapitolách bylo nastíněno, jakým způsobem bude modul napájen, čím se bude řídit a po částech byla objasněna funkce zařízení. Nyní se kapitola bude zabývat návrhem zapojení a jeho sestavením do reálné podoby. Na obrázku 3.1 je zobrazeno blokové schéma modulu. Hlavními oblastmi návrhu, kterými se tato kapitola zabývá, je obvod pro přepínání napájení (baterie/zdroj) a obvod pro regulaci osvětlení. Schéma zapojení je realizováno v programu Eagle spolu s návrhem desky plošných spojů. V příloze A je zobrazeno schéma zapojení, které bude po částech rozebráno v následujících kapitolách.

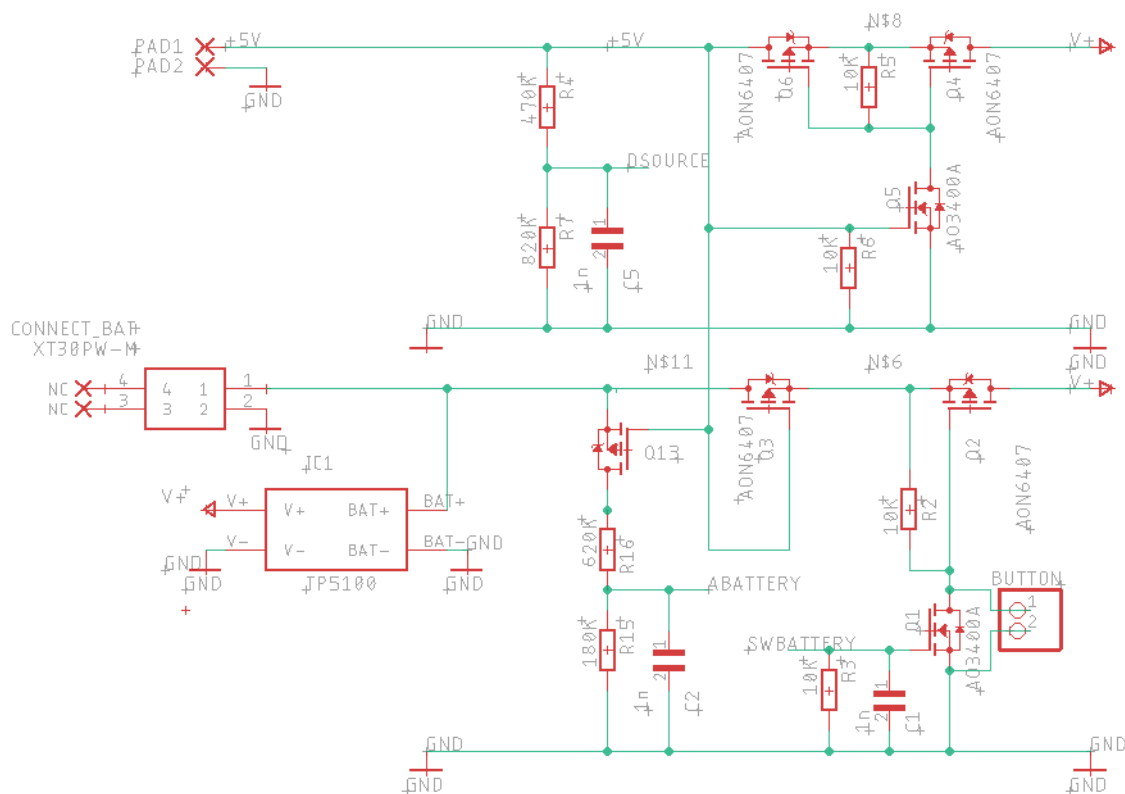


Obr. 3.1: Blokové schéma zařízení

3.1 Napájení

3.1.1 Obvod pro přepínání baterie zdroj

Tento obvod má sloužit k automatickému připojení napájení z baterie, v případě, že se zdroj odpojí nebo k odpojení baterie ve chvíli, kdy se zdroj připojí. Dále jsou v obvodu připojeny napěťové děliče pro detekci připojení zdroje a měření stavu baterie.



Obr. 3.2: Obvod pro přepínání baterie zdroj

Připojování nebo odpojování zdroje (horní obvod) a baterie (spodní obvod) zajišťují dvojice P a N MOSFETů Q4, Q5 a Q1, Q2. Tranzistory Q4 a Q2 jsou typu P a zajišťují hlavní odpojení od obvodu, jsou to výkonové tranzistory AON6407. Tranzistory Q5 a Q1 jsou typu N a jejich úlohou je přivádět gate tranzistorů Q4, Q2 buď na zem (tranzistory P jsou otevřeny) nebo naopak je od ní odpojovat (tranzistory P jsou zavřeny). Řízením tranzistorů Q1 a Q5 lze tedy připojovat či odpojovat napájení ze zdroje či z baterie.

Pokud je připojen zdroj (PAD1, PAD2), tranzistory Q5 a zároveň i Q4 a Q6 jsou otevřeny a Q3 je zavřen. Zařízení se napájí ze zdroje. Pokud se zdroj odpojí, MOSFETy Q5, Q4, Q6 se uzavřou a otevře se tranzistor Q3. Zároveň ESP32 detekuje přes napěťový dělič (R7, R6), že je zdroj odpojen a otevře tranzistor Q1 přivedením

log.1 na gate tohoto tranzistoru (SWBATTERY) a tím se otevře i Q2. V tuto chvíli se zařízení napájí z baterie. Tranzistory Q6, Q3 slouží jako ochrana proti přepólování a pro zamezení průchodu proudu ze zdroje/baterie do baterie/zdroje.

Tranzistor Q1 je řízen pinem z ESP32 a lze tedy softwarově zařízení vypínat při odpojení zdroji. Softwarové vypínání bude výhodou například, pokud bude potřeba zařízení vypnout z důvodu nízkého stavu baterie. Pokud zařízení vypneme a stav baterie se bude pohybovat v požadovaných mezích, lze zařízení opětovně zapnout stisknutím tlačítka (BUTTON), který dočasně připojí baterii k obvodu na nezbytně nutnou dobu, než ESP detekuje, že zdroj není připojen a zapne sám napájení z baterie.

Pokud se zařízení napájí z baterie je tranzistor Q13 (AO3493) otevřen a ESP32 měří na napěťovém děliči (R15, R16) stav baterie. Napětí na tomto děliči je omezeno na maximálně 1 V, aby A/D převodník zabudovaný v ESP32 mohl pracovat s útlumem 0 dB. Napěťový dělič je zároveň připojen pouze pokud je odpojen zdroj, aby nedocházelo k vybíjení baterie do obvodu.

Pokud se zařízení napájí ze zdroje, tak se baterie nabíjí přes nabíječku TP5100.

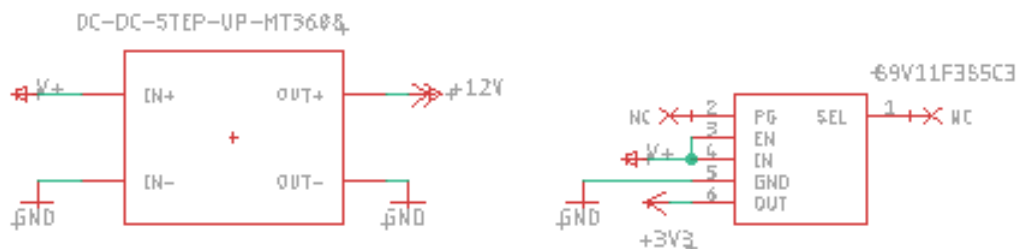
Parametry tranzistorů

Parametry	Napětí drain source (VDS)	Napětí gate pro otevření VGS(th)	Proud mezi drain source (ID)	Odpor v sepnutém stavu (RDS)	Ztrátový výkon (PD)	Označení
AON6407 (P)	-30 V	-2.1 V	-32 A	6 mΩ	7.3 W	Q2,Q3, Q4,Q6
AO3400A (N)	30 V	1.05 V	5.7 A	40 mΩ	1.4 W	Q1,Q5
AO3493 (P)	-20 V	-0.65 V	-3 A	100 mΩ	1.4 W	Q13

Tab. 3.1: Parametry použitých tranzistorů[49][48][50]

3.1.2 Zapojení DC/DC měničů

Modul s MT3608 slouží pro zvyšování napětí pro LED pásy. Pro nastavení výstupního napětí 12 V slouží trimr (obrázek 3.4). Na vstup modulu je přivedeno napětí z obvodu pro přepínání napájení.

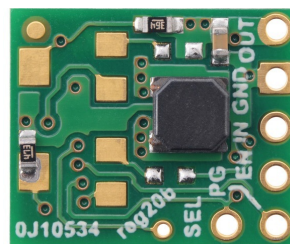


Obr. 3.3: Zapojení DC/DC měničů

SV911X slouží pro napájení ESP32 s fixním výstupem 3,3 V. Výstuní napětí se nastavuje pinem SEL. Pin EN slouží pro odpojení, pokud hodnota napětí klesne pod určitou hodnotu (3 V). V tomto případě je připojen EN na VIN a tím tedy sleduje vstupní napětí. Situace, kdy nebude na vstupu měniče dostatečně velké napětí, by neměla nastat, jelikož vypínání baterie bude ošetřeno softwarově na hodnotu 3.5 V. PG slouží pro hlídání výstupního napětí, tento pin se v zapojení nepoužívá. Na vstup tohoto měniče je přivedeno napětí z obvodu pro přepínání napájení.

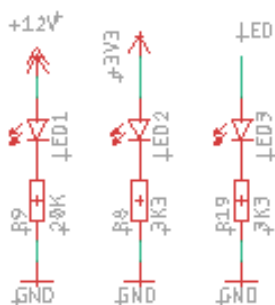


Obr. 3.4: MT3608 [39]



Obr. 3.5: SV911X [40]

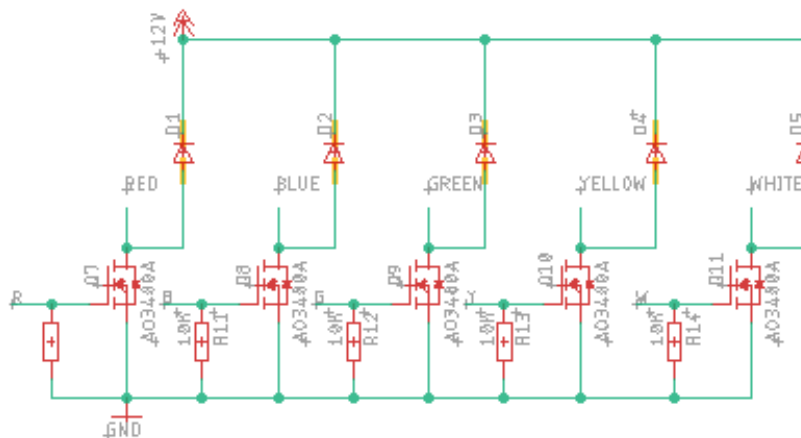
3.1.3 Indikační LED



Obr. 3.6: Indikační LED

Indikační LED slouží pro kontrolu správné funkce a případné odhalení poruchy zařízení. Dvě LED slouží pro DC/DC měniče a jedna slouží pro ESP32.

3.2 Obvod pro regulaci osvětlení



Obr. 3.7: Obvod pro regulaci osvětlení

V kapitole Ovládání LED bylo vybráno řízení osvětlení pomocí PWM s MOSFETem jako spínací prvek. Ovládání osvětlení je tedy řešeno pomocí N MOSFETů v zapojení jako spínač (Q7-Q11). Pro spínání jsou použité stejné tranzistory jako v obvodu pro přepínání napájení AO3400A. Tranzistory jsou řízeny PWM z ESP32. Pro každý kanál barvy (RED, GREEN, BLUE, YELLOW a WHITE) slouží jeden spínač.

Kvůli indukčnosti drátů, které vedou k pásce a v LED pásce, jsou přidány mezi Drain MOSFETŮ a 12 V Schottkyho diody, které zabrání zničení tranzistorů (obrázek 3.7).

3.3 Zapojení řídicí jednotky, senzorů a uživatelského rozhraní

3.3.1 Senzory

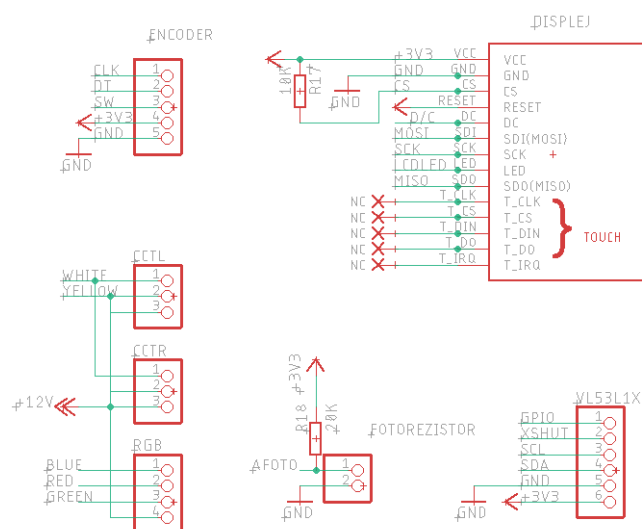
Fotorezistor je připojen k řídicí jednotce v napěťovém děliči. Hodnota odporu v tomto děliči je 10 kΩ a byla zjištěna experimentálně, jelikož se hodnota odporu fotorezistoru pohybuje ve velkém rozsahu při různých intenzitách osvětlení.

Senzor přiblížení VL53L1X má dva datové piny pro I2C komunikaci, které jsou připojeny k ESP32 přes pull-up rezistory, dva piny pro napájení a XSHUT a GPIO1 pin.

3.3.2 Uživatelské rozhraní

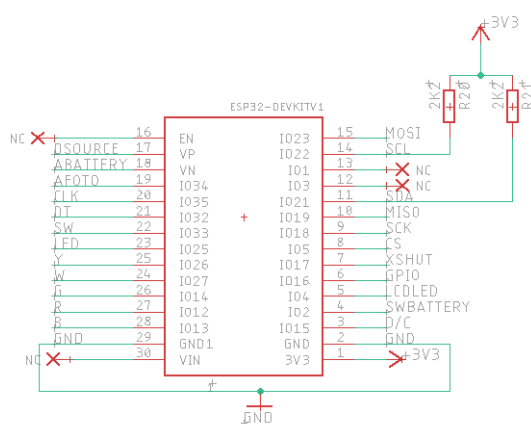
Enkodér má dva datové piny pro určení směru rotace a jeden pin pro detekci stlačení hřídele. Pro napájení slouží další dva piny (3V3 a GND).

Displej má k ESP32 připojeny 4 piny pro SPI komunikaci a RST pin, který je připojen na 3,3 V, jelikož není potřeba displej resetovat. Dále pin data/comand (D/C), pin LED, který slouží pro podsvícení a CS, který je připojen přes pull-up rezistor. Všechny tyto komponenty jsou připojeny k desce plošných spojů pomocí konektorů. Tyto konektory budou rozebrány v následující kapitole. Dále jsou na obrázku 3.8 zobrazeny i konektory pro připojení LED pásků.



Obr. 3.8: Komponenty

3.3.3 ESP32



Obr. 3.9: ESP32 zapojení

V tabulce 3.2 jsou zobrazeny použité piny a k jakým účelům se využívají. Piny 36, 39, 34 a 35 mohou být pouze input, což je splněno. Analogové vstupy jsou připojeny na ADC1 převodník. Na pin 2 je připojeno vypínání/zapínání baterie (SWBATTERY), současně je k tomuto pinu připojena na ESP32 LED indikace, která může být užitečná při ožívování.

Piny	Připojené zařízení	Využití pinu
36	Stav připojení zdroje	digital input
39	Monitorování baterie	analog input (ADC1)
34	Snímání hodnot z fotorezistoru	analog input (ADC1)
35	Data z enkodéru - primární pulz	digital input
32	Data z enkodéru - rotace	digital input
33	Data z enkodéru - tlačítko	digital input
25	Indikační LED	digital output
26	Ovládání LED - žlutá	PWM
27	Ovládání LED - bílá	PWM
14	Ovládání LED - zelená	PWM
12	Ovládání LED - červená	PWM
13	Ovládání LED - modrá	PWM
23	Displej - MOSI	MOSI
22	VL53L1X - SCL	SCL
21	VL53L1X - SDA	SDA
19	Displej - MISO	MISO
18	Displej - SCK	SCK
5	Displej - CS	CS
17	VL53L1X - XSHUT	digital output
16	VL53L1X - GPIO1	digital input
4	Displej - LED	digital output
2	Vypínání baterie (SWBATTERY)	digital output
15	Displej - D/C	digital output

Tab. 3.2: Použití pinů

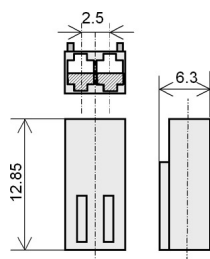
3.4 Deska plošných spojů

V příloze B je zobrazena deska plošných spojů. Deska má rozměry 9,5x8,9 cm a je konstruována ve IV. konstrukční třídě. Jde o oboustrannou desku, na jejíž spodní části je rozlity signál GND. Pro proudově více zatěžované cesty, jako jsou signály pro přepínání baterie a cesty k DC-DC měničům, jsem volila vytvoření cesty pomocí polygonu. Pro rezistory a kondenzátory jsem zvolila SMD pouzdro 1206. Moduly (DC/DC meniče a nabíječka) jsou k desce připojeny pomocí kolejnic. ESP32 je též připojeno pomocí kolejnic a je odnímatelné pro výměnu nebo přehraní řídicího kódu bez nutnosti manipulace s celým výrobkem. K microUSB je však umožněn přístup i v případě, pokud je ESP32 připojeno skrze kolejnice k desce.

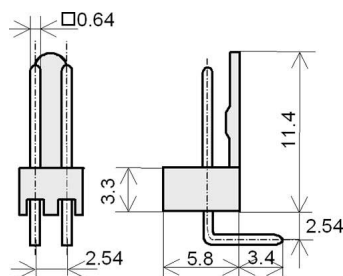
3.4.1 Konektory

Enkodér, senzory, tlačítko, LED pásy a displej jsou k desce připojeny pomocí konektorů. Vybrala jsem konektory se zámkem PSH02, které nejdou otočit a lze tak zabránit špatnému připojení. Rozměry těchto konektorů a vzhled jsou zobrazeny na obrázcích níže. Maximální proud, který může téct tímto konektorem jsou 2 A. Na obrázku 3.11 jsou zobrazeny kontakty k těmto konektorům.

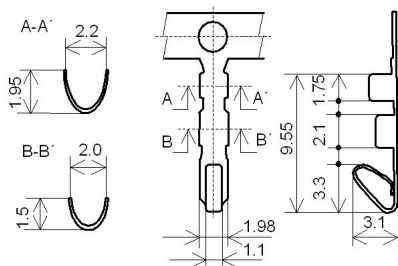
Displej měl být původně zapojen přímo k desce, ale vzhledem k tomu, že rám zrcadla není tak hluboký, byl displej připojen také přes konektor. Jelikož pro konektor PSH02 nebylo dostatek místa, vybrala jsem konektor BLS.



Obr. 3.10: Zásuvka přímá PSH02 [46]

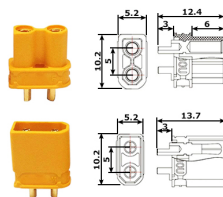


Obr. 3.11: Vidlice úhlová PSH02 [46]



Obr. 3.12: Kontakty ke konektorům PSH02 [46]

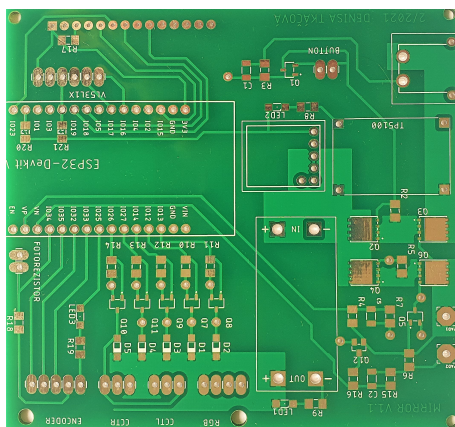
Baterie je k desce připojena také pomocí konektoru, pro případ, že by zařízení nebylo dlouho používané a mohla se tak zcela odpojit od obvodu. Konektor XT30x je zobrazen na obrázku. Tímto konektrem může téct proud až 15 A.



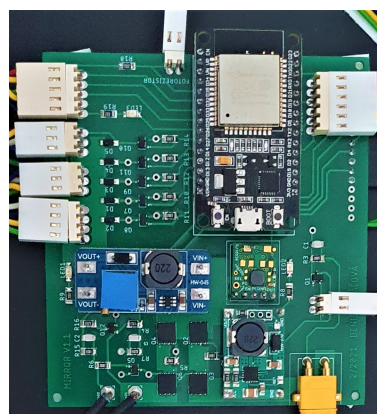
Obr. 3.13: Konektor XT30x [47]

3.5 Vzhled

Na následujících obrázcích je deska plošných spojů samostatná i osazená komponenty a umístěna do celkové sestavy.



Obr. 3.14: Vzhled DPS



Obr. 3.15: Vzhled DPS s komponenty a součástkami

Celé zapojení je osazeno do rámu o velikosti 20x30 cm. Díky těmto rozměrům byly zvoleny LED pásy CCT 2x25cm a RGB 1x20cm. Zapojení celého zařízení je zobrazeno na obrázku 3.17. Sensor intenzity osvětlení jsem umístila na horní část rámu, aby snímal intenzitu osvětlení okolního prostředí a světlo z LED pásku na něj mělo co nejmenší vliv. Sensor přiblížení jsem umístila na vršek pohledové části rámu, aby bylo možné detekovat objekt před zrcadlem (obrázek 3.16). Původně měl být sensor zapuštěn zevnitř rámu pouze s průhledem na samotný senzor, to se však ukázalo jako nevhodné, jelikož senzor snímal průhled i v případě, že byla nastavena nejmenší možná šířka paprsku.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, zdroj osvětlení bude zakomponován v zrcadle. Původně bylo zamýšleno použít polopropustné zrcadlo, ale zjistila jsem, že na trhu se prodávají spíše tzv. špionážní zrcadla, která mají velmi špatné odrazivé vlastnosti. Polopropustné zrcadlo, které jsem měla k dispozici mělo právě tyto nedostačující odrazivé vlastnosti a vzhledem k použití výrobku mi odrazivost zrcadla přišla jako zásadní faktor. Navíc je zrcadlo velmi těžké a zvýšilo by tak hmotnost celého výrobku. Z tohoto důvodu jsem zvolila klasické zrcadlo, ve kterém jsem odstranila odrazivou vrstvu pro LED pásky a displej. Rozdíl odrazivosti zrcadel je zobrazen obrázcích 3.18 a 3.19.



Obr. 3.16: Přední strana zrcadla



Obr. 3.17: Zadní strana zrcadla bez krytu



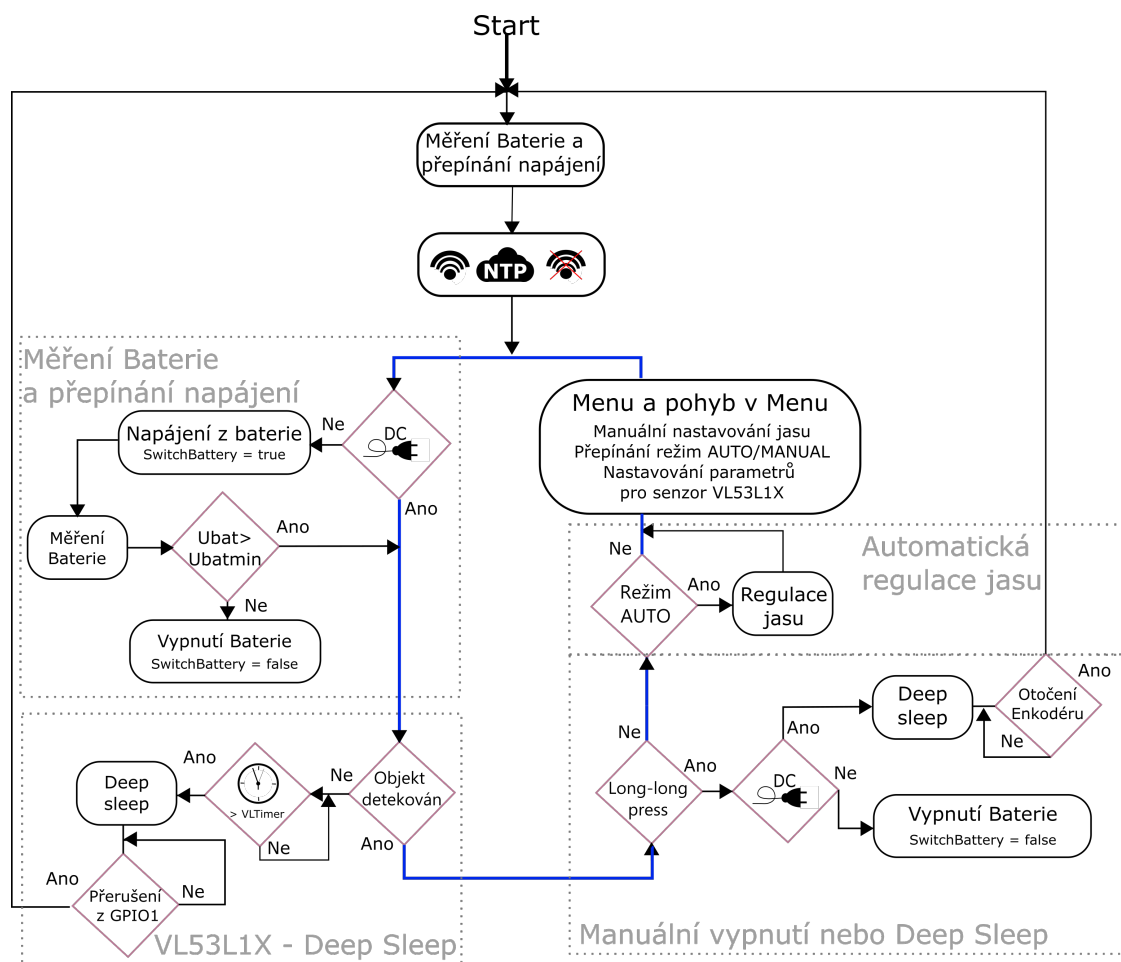
Obr. 3.18: Klasické zrcadlo



Obr. 3.19: Polopropustné zrcadlo

4 Software

Kód je implementován ve vývojovém prostředí Arduino IDE, které vychází z jazyka C. Na obrázku 4.1 je zobrazen vývojový diagram běhu programu, modře zbarvená silná čára v diagramu reprezentuje while smyčku loop.



Obr. 4.1: Blokové schéma programu

Při startu programu se ve funkci setup prioritně vyhodnotí, jestli se zařízení napájí ze zdroje či z baterie. Následně se ESP32 připojí k Wi-Fi a stáhne si datum a čas ze serveru *europe.pool.ntp.org* a odpojí se.

Ve smyčce loop se nejprve provede opět část kódu pro přepínání zdroj/baterie a následně, pokud je zařízení napájeno z baterie, se měří její stav. Poté se vyhodnocuje, zda je detekován objekt pomocí senzoru přiblížení. Pokud po určitou dobu není objekt detekován, zařízení přejde do deep sleep módu. Následuje vyhodnocování, jestli nastala změna stavu enkodéru, popřípadě přenastavení proměnných reprezentujících stav enkodéru. Pokud nastal long-long press (stlačení hřídele enkodéru po dobu dvou sekund) a zařízení je napájeno z baterie, dojde k vypnutí zařízení pomocí proměnné *SwitchBattery*, pokud je napájeno ze zdroje, přejde zařízení do deep

sleepu. Následuje automatická regulace jasu, která probíhá, pokud je zvolen režim této regulace. Program poté přejde do Menu. V Menu se vykresluje příslušná obrazovka na displej a popřípadě je možné nastavovat barvu a intenzitu osvětlení, režim regulace nebo jiné proměnné.

Bloky programu jsou blíže popsány v následujících kapitolách.

4.1 Menu a pohyb v Menu

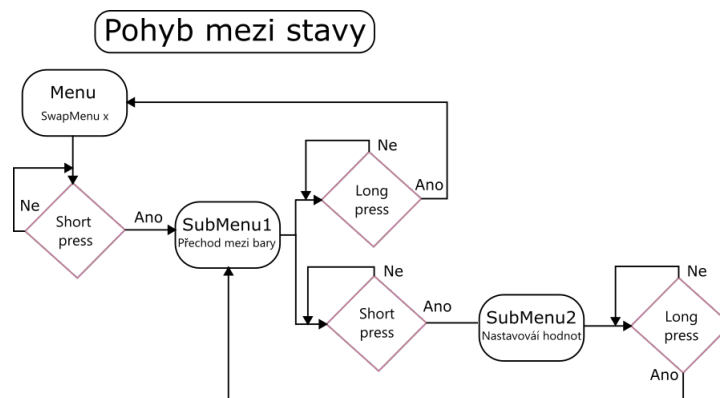
4.1.1 Enkodér - typy stlačení hřídele

Enkodér má implementovanou funkci tří typů stisku. Prvním je krátký stisk (short press) v rozsahu 0 - 400 ms, tento typ stisku se používá pro vnoření do Menu. Dlouhý stisk (long press), který je v rozsahu 400 - 2000 ms slouží k vynoření z Menu. Posledním je více než dlouhý stisk (long long press) nad 2000 ms, který slouží k vypnutí zařízení.

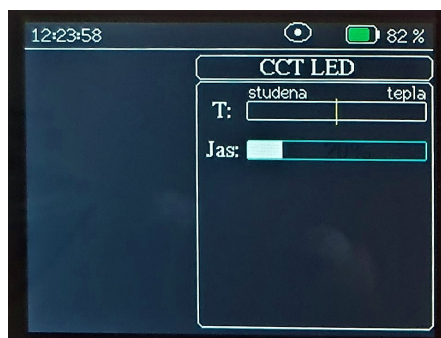
4.1.2 Pohyb v Menu

Při otočení enkodéru se nastavují proměnné v závislosti na směru otočení. Nastavují se ty proměnné, které jsou určené pro dané SubMenu/Menu, ve kterém se program nachází.

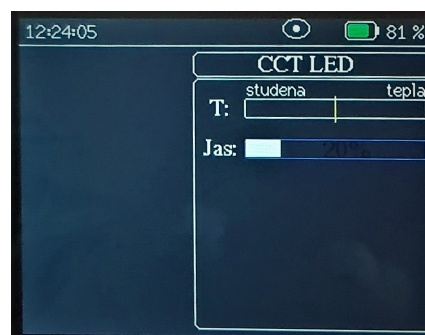
Existují dvě proměnné *SubMenu1* a *SubMenu2* typu bool, které určují stav, ve kterém se program aktuálně nachází. Ve výchozím stavu jsou obě proměnné false a kód je tak ve stavu Menu. Při jednom krátkém stisku enkodéru se nastaví proměnná *SubMenu1* na true a program tak přejde do stavu SubMenu1 (světle modrý rámeček), kde probíhá přepínání mezi jednotlivými proměnnými. Při dalším následujícím krátkém stisku se nastaví i proměnná *SubMenu2* na true a kód je ve stavu SubMenu2 (tmavě modrý rámeček), kde probíhá nastavování konkrétní vybrané proměnné. Vynoření ze SubMenu/Menu o jeden krok, probíhá dlouhým stiskem. Jsou tedy definovány tři stavy z hlediska vnoření.



Obr. 4.2: Pohyb mezi stavy



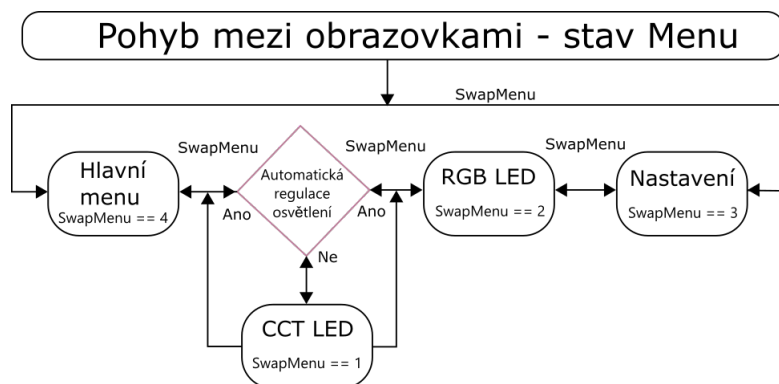
Obr. 4.3: Vnoření SubMenu1



Obr. 4.4: Vnoření SubMenu2

Stav Menu

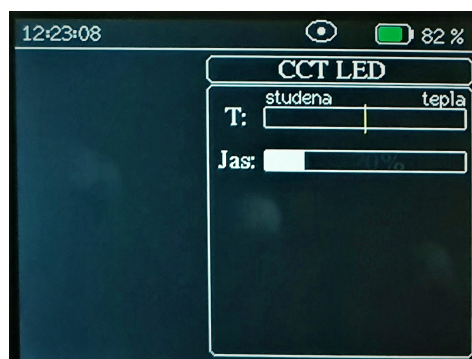
Ve stavu Menu se otočením enkodéru nastavuje proměnná *SwapMenu*, která nabývá hodnot 1-4 při manuálním nastavování jasu a 2-4 při automatickém nastavování. V závislosti na této proměnné se prokreslují na displej 4 případně 3 různé obrazovky - Hlavní obrazovka, CCT LED, RGB LED a Nastavení. V automatickém režimu se nevykresluje obrazovka CCT LED, aby nedocházelo k přenastavování proměnných pro tyto LED, jelikož se nastavují automaticky.



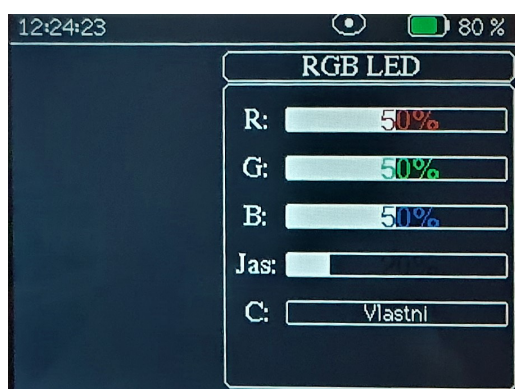
Obr. 4.5: Pohyb mezi obrazovkami



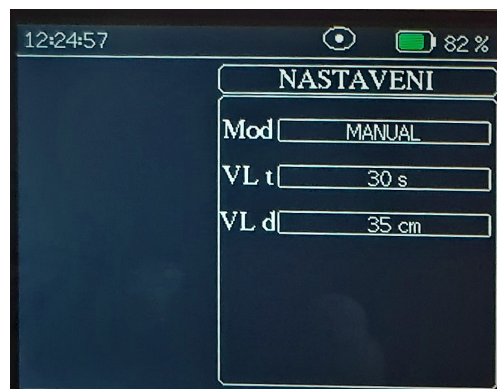
Obr. 4.6: Hlavní menu



Obr. 4.7: CCT LED



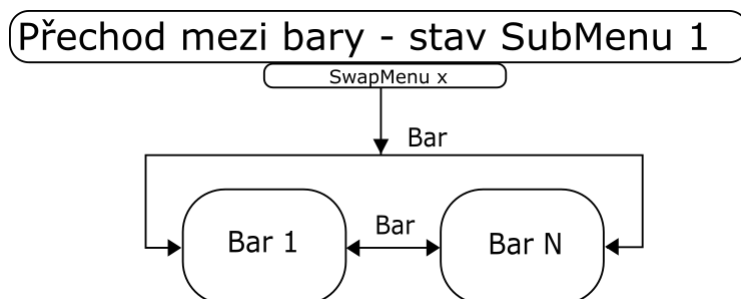
Obr. 4.8: RGB LED



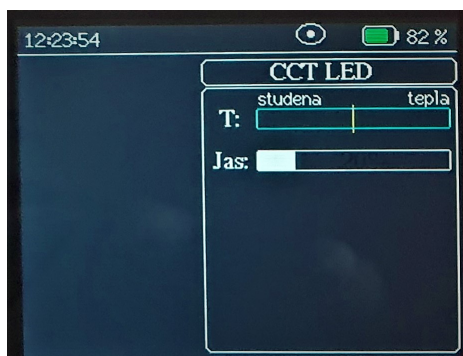
Obr. 4.9: Nastavení

Stav SubMenu1

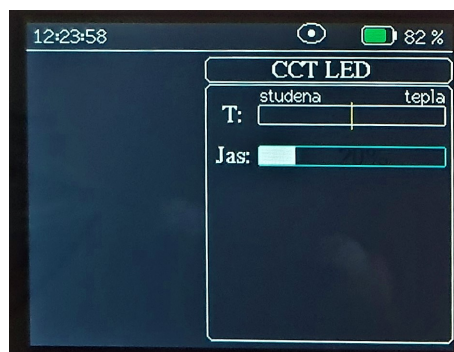
V SubMenu1 se otočením enkodéru nastavuje proměnná *Bar*, která může nabývat hodnot 1-6. Tato proměnná reprezentuje vždy jeden z rámečků a nastavováním této proměnné se lze tedy pohybovat mezi rámečky na dané vykreslené obrazovce.



Obr. 4.10: Přechod mezi bary



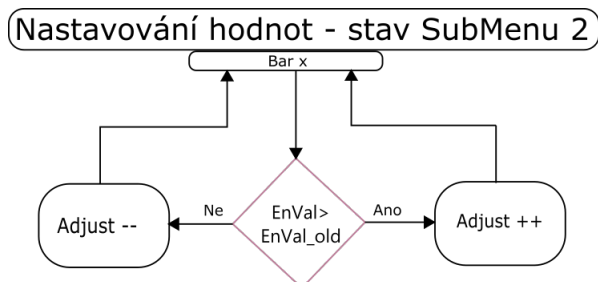
Obr. 4.11: Bar 1



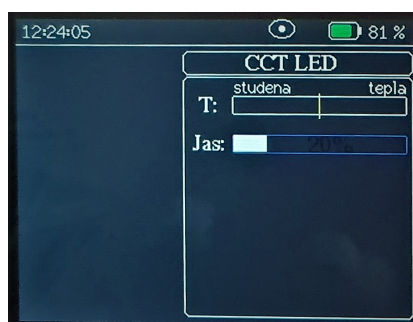
Obr. 4.12: Bar N

Stav SubMenu2

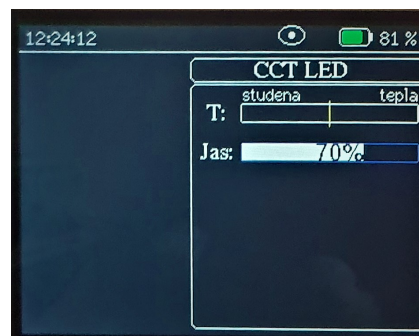
V SubMenu2 se otočením enkodéru nastavuje proměnná *Adjust*, která nabývá hodnot 0-100 a slouží k nastavování hodnot proměnných reprezentující stav osvětlení. Proměnná *Adjust* je ukládána do proměnné příslušné danému rámečku ve kterém se nacházíme. Příklad: Nastavujeme jas, který má aktuální hodnotu 50. Při vnoření do SubMenu2 v příslušném rámečku se do proměnné *Adjust* jednorázově přepíše hodnota aktuálního jasu. Poté se již přepisuje hodnota proměnné *Adjust* do jasu, tedy změna proměnné *Adjust* změní hodnotu jasu. Po vymoření zůstane v proměnné charakterizující jas poslední hodnota z proměnné *Adjust* před vymořením.



Obr. 4.13: Nastavování hodnot



Obr. 4.14: Výchozí stav



Obr. 4.15: Adjust ++

4.1.3 Hlavní menu

Na obrázku 4.6 je zobrazen vzhled Menu 4. V tomto menu se nenastavují žádné proměnné, slouží pouze pro zobrazování jejich stavů. K zobrazení detekci objektu před zařízením, slouží tzv. "oko", které se vykresluje na displeji v každém menu. Pokud je oko otevřené objekt je snímán. Dále se v hlavním menu vykresluje čas a datum pomocí funkce *void printTime1()* a stav baterie pomocí funkce *void printBattery()*. Dále se na obrazovce vykresluje čas východu a západu Slunce, poměr barev osvětlení obou LED v koláčovém grafu a režim regulace osvětlení. Koláčové grafy se vykreslují pomocí funkce *void fillCircleSegment()*.

4.1.4 Menu 1,2,3

V CCT LED (obr. 4.7) lze nastavovat barvu a jas. Obdobně v menu RGB LED (obr. 4.8) lze nastavovat jas, barvu a lze si volit předdefinované barvy (modrá, žlutá, červená, zelená, fialová). V Nastavení (obr. 4.9) lze měnit režim AUTO/MANUAL, nastavovat vzdálenost, kterou má detekovat senzor přiblížení a čas, za jak dlouho má zařízení přejít do deep sleep módu.

Na každé obrazovce se vykreslují rámečky. Pro zjednodušení vykreslení rámečků (barů) slouží dvě funkce *void drawBar()* a *void fillBar()*.

4.2 Přepínání baterie zdroj

Přepínání baterie zdroj je realizováno jednoduchou podmínkou:

```
1  if (Source) {  
2      SwitchBat = false;  
3  }  
4  else {  
5      SwitchBat = true;  
6  }
```

Výpis 4.1: Podmínka přepínání baterie zdroj

Pokud je zdroj připojen, baterie je odpojena od zařízení.

4.3 Měření baterie

Napětí baterie se měří každou minutu a je počítáno jako průměr ze 100 po sobě jdoucích hodnot, aby se zamezilo chybně vyhodnocené hodnotě. Hodnota z A/D převodníku je měřena s rozlišením 12 bitů tedy 0-4095 a je poté přepočítána na hodnotu napětí měřeného z děliče. Napětí naměřené z děliče (voltage), je potom

přepočítáno na napětí baterie U . Pokud je hodnota U menší než minimální přípustná hodnota napětí baterie, zařízení se vypne.

Stav baterie je potom přímo úměrně přepočítán na procentuální hodnotu nabití baterie. Maximální hodnota je 4,1 V (100%) a minimální 3,4 V (0%). Z tohoto rozsahu je poté vypočítán aktuální stav nabití baterie. Přepočet hodnoty napětí na procenta a vykreslování na displej zajišťuje funkce *void printBattery()*. Pokud je zařízení napájeno ze zdroje, na displej se vykresluje ikona zdroje a stav nabíjení. Stav nabití nebo napájení se zobrazuje na každé obrazovce.

```
1      // nastavení útlumu 0dB pro měření baterie
2      analogSetPinAttenuation(ABat, ADC_0db);
3
4      // měření stavu baterie a výpočty
5      for(int i = 99; i>=0;i--){
6          valueBat= analogRead(ABat);
7          Battery +=valueBat ;
8      }
9
10     Battery = Battery/100;
11     voltage = 1 * Battery / 4095;
12     U = (voltage * (635 + 165)) / 165;
13
14     //vypnutí zařízení, pokud hodnota klesne pod minimální
15     //hodnotu napětí, Umin = 3.4 V
16     if(U<Umin){
17         SwitchBat = false;
18         digitalWrite(SWBat, SwitchBat);
19     }
```

Výpis 4.2: Měření stavu baterie

4.4 Deep sleep

Do deep sleep módu se lze dostat dvěma způsoby. První zajišťuje senzor VL53L1X. Pokud senzor nedetekuje objekt v určité nastavené vzdálenosti po daný časový úsek, přejde ESP32 do deep sleep módu. Probuzení zajišťuje senzor pomocí interrupt pinu GPIO1. Vzdálenost i časovač lze uživatelsky nastavit v Nastavení. Druhým způsobem, jak přejít do deep sleep módu je podržení tlačítka po dobu dvou sekund, pokud je zařízení napájeno ze zdroje. Pokud je napájeno z baterie, tak se zařízení po dlouhém stisku tlačítka (long-long press) vypne celé. Opětovné probuzení je zajištěno otočením hřídele enkodéru. Druhý způsob byl implementován z toho důvodu, že není možné zařízení vypnout, pokud je požadováno pouze nabíjení baterie, a zároveň vypnuté zařízením. Přechodem do deep sleep módu lze zařízení alespoň uspat.

Oba způsoby přechodu do deep sleep módu zajišťuje funkce *void GoToSleep()*, která nastaví interrupt pin a ESP32 přejde do deep sleep módu. V RTC paměti ESP32 jsou uloženy proměnné, jejichž hodnota má být uložena i po dobu spánku. Těmito hodnotami jsou například jas, barva osvětlení, režim ovládání nebo proměnné pro senzor přiblížení.

4.5 Regulace intenzity a barvy osvětlení

4.5.1 Manuální režim

V manuálním režimu se intenzita a barva osvětlení nastavuje pomocí enkodéru. Pro regulaci barvy CCT LED slouží proměnná *color*, která nabývá hodnot od 0 do 100. Pro regulaci jasu slouží proměnná *brightCCT*, která je reprezentována v procentech. Jas lze tedy nastavovat od 0 do 100, přičemž 100 reprezentuje hodnotu 250 pro PWM. Hodnota nastaveného jasu se rozloží mezi žlutou a bílou LED v poměru, který udává proměnná *color*. Hodnota 0 proměnné *color* reprezentuje barvu bílou, 100 reprezentuje barvu žlutou a při hodnotě 50 svítí obě LED stejně. Na následujícím výpisu je zobrazen vzorec pro přepočítání na výslednou hodnotu, která je střídou signálu.

```
1    brightY = 2.5 * (color) * brightCCT / 100;  
2    brightW = 2.5 * (100 - color) * brightCCT / 100;
```

Výpis 4.3: Nastavování intenzity a barvy osvětlení CCT LED

Tyto výpočty a zapsání proměnné na vstup zajišťuje funkce *void changecolorCCT()*.

Nastavování RGB LED probíhá stejným způsobem, ale s tím rozdílem, že barva každé LED v pásku je reprezentována svojí proměnnou *red*, *green*, *blue*. Jas je reprezentován proměnnou *brightRGB*. Vzorec pro nastavení hodnot každé barvy vypadá následovně.

```
1    brightG = 2.5 * green * brightRGB / 100;  
2    brightB = 2.5 * blue * brightRGB / 100;  
3    brightR = 2.5 * red * brightRGB / 100;
```

Výpis 4.4: Nastavování intenzity a barvy osvětlení RGB LED

Tyto výpočty a zapsání proměnné na vstup zajišťuje funkce *void changecolor()*.

4.5.2 Automatický režim

V automatickém režimu se reguluje jas podle hodnoty z fotorezistoru a barva podle pozice Slunce.

Napětí na fotorezistoru se měří v rozsahu 0 až 4095 (12 bitů). Hodnota tohoto napětí je přímo přepočítána na hodnotu jasu *brightCCT*. Čím více světla dopadá na fotorezistor, tím méně bude osvětlení svítit. V následujícím výpisu je zobrazen tento přepočet. K přepočtu je vložena hystereze, aby změna neprobíhala rychlým způsobem, jelikož hodnoty z fotorezistoru jsou citlivé a mění se relativně rychle při manipulaci s výrobkem.

```
1  brightold = brightCCT;
2  brightCCT = Afoto / 40.96;
3  if (brightCCT >= brightold + 3 || brightCCT <= brightold -
4      3) {
5      brightCCT = brightCCT;
6  }
7  else {
8      brightCCT = brightold;
```

Výpis 4.5: Přepočet hodnot z fotorezistoru na výstup LED

Proměnná *color* (barva) se nastavuje v závislosti na pozici Slunce (*altitude*). Při východu a západu Slunce je úhel roven nule a v poledne je úhel největší (*noonaltit*). Postup výpočtu těchto úhlů vypadá následovně.

Počet dnů od začátku roku :

$$\begin{aligned} day = & int\left(\frac{275 \cdot \text{měsíc}}{9}\right) - int\left(\frac{275 \cdot (\text{měsíc} + 9)}{12}\right) \\ & \cdot \left(1 + int\left(\frac{rok - 4 \cdot int(\frac{rok}{4}) + 2}{3}\right)\right) + den - 30 \end{aligned} \quad (4.1)$$

Deklinace - pravouhlá vzdálenost slunce od zemského rovníku.(úhel) (declination)

$$delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{day + 284}{365} \cdot 360 + \frac{180}{\pi}\right) \quad (4.2)$$

Rozdíl mezi skutečným slunečním časem a středním slunečním časem (čas ukazovaný hodinami) v minutách. (equation of time)

$$\begin{aligned} ET = & 9.87 \cdot \sin(2D) - 7.53 \cdot \cos(D) - 1.5 \cdot \sin(D) \\ \text{kde } D = & 360 \cdot \frac{day - 81}{365} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Lokální zeměpisná šířka nejbližšího poledníku ve stupních.

$$LSTM = 15 \cdot \text{int}\left(\frac{\text{longtitude}}{15}\right) \quad (4.4)$$

Zdánlivý sluneční čas - čas vypočítaný podle skutečného pohybu Slunce v minutách. (apparent solar time)

$$AST = \text{hodina} \cdot 60 + \text{minuta} + 4 \cdot (LSTM - \text{longtitude}) + ET \quad (4.5)$$

Azimutový úhel slunečních paprsků způsobený rotací země ve stupních. (0 v poledne, před polednem < 0, po poledni > 0)

$$\text{hourAngle} = \frac{AST - 720}{4} \quad (4.6)$$

Zdánlivá pravoúhlá výška Slunce na obloze - výškový úhel ve stupních (0 při východu a západu)

$$\begin{aligned} \text{altitude} = & \arcsin\left(\sin\left(\frac{\text{latitude} \cdot \pi}{180}\right) \cdot \sin\left(\frac{\text{delta} \cdot \pi}{180}\right) + \cos\left(\frac{\text{latitude} \cdot \pi}{180}\right) \right. \\ & \left. \cdot \cos\left(\frac{\text{delta} \cdot \pi}{180}\right) \cdot \cos\left(\frac{\text{delta} \cdot \pi}{180}\right) \cdot \cos\left(\frac{\text{hourAngle} \cdot \pi}{180}\right)\right) \cdot \frac{180}{\pi} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Výškový úhel v poledne ve stupních.

$$\text{noonaltit} = 90 - \text{latitude} + \text{delta} \quad (4.8)$$

kde:

latitude	zeměpisná šířka	[°]
longtitude	zeměpisná délka	[°]

Výpočty polohy Slunce vycházejí z literatury [51].

Nastavování proměnné *color* je tedy funkčně závislé na úhlu *altitude*. Od východu k poledni se úhel mění od nuly až po velikost *noonaltit* a od poledne k západu se mění od hodnoty *noonaltit* k nule. Zároveň se s tímto úhlem mění barva světla. Barva se bude měnit ze žluté na bílou od východu k poledni a od poledne k západu, bude postupně přecházet z bílé na žlutou.

Na následujícím výpisu je zobrazen výpočet barvy světla. Přepočet probíhá pouze pokud se pohybujeme mezi východem a západem Slunce.

```

1  if (MActual > sunrise && MActual < sunset) {
2      color = (100 * altitude) / noonaltit;
3      color = 100 - color;
4  }

```

Výpis 4.6: Nastavování barvy osvětlení CCT LED v závislosti na pozici Slunce

Výpočet polohy Slunce zajišťuje funkce *void sunPosition()*.

4.6 Použité knihovny

Pro implementaci kódu byly použity dostupné knihovny. Tyto knihovny jsou zobrazeny ve výpisu 4.7.

```

1  #include <SPI.h>
2  #include <TFT_eSPI.h>
3  // Copyright (c) 2020 Bodmer (https://github.com/Bodmer) (
4  // GitHub Community)
5  #include <Free_Fonts.h>
6  #include <analogWrite.h>
7  #include <WiFi.h>
8  #include <time.h>
9  #include <Wire.h>
10 #include <SparkFun_VL53L1X.h>
11 // COPYRIGHT(c) 2018 STMicroelectronics (https://github.
12 // com/sparkfun/SparkFun_VL53L1X_Arduino_Library/)
13 #include <ESP32Encoder.h>
14 // Universidad de Palermo, Argentina (http://www.palermo.
15 // edu/)

```

Výpis 4.7: Použité knihovny

SPI.h, WiFi.h, time.h, Wire.h a analogWrite.h jsou vestavěné knihovny k mikroprocesoru v programovacím prostředí Arduino IDE. Slouží ke komunikaci s displejem (SPI) a senzorem přiblížení (Wire), připojení k Wi-Fi, manipulaci s vnitřním časem ESP a pro analogový výstup k řízení LED pásků.

Závěr

Tato práce se zabývala realizací modulu osvětlení, která zahrnovala výběr komponent, tvorbu návrhu zapojení, tvorbu DPS, implementaci softwaru a hlavně se zabývala sestavením a oživením do finální podoby. Byla popsána problematika návrhu a řízení tohoto modulu. Cílem bylo vytvořit modul, který bude uživatelsky nastavitelný a bude schopen automaticky nastavovat barvu a jas podle okolních podmínek. Dalším požadavkem bylo, aby zařízení reagovalo na přítomnost uživatele. Tyto cíle byly splněny.

Možným vylepšením a pokračováním práce by mohla být mobilní aplikace nebo webserver, ze kterého by bylo možno zařízení ovládat vzdáleně. Dále také ukládání měřených hodnot ze senzorů nebo baterie, buď na SD kartu do souboru, která je dostupná na desce displeje anebo třeba pomocí již zmíněného vlastního webu, popřípadě za použití dostupných webů, například ThingSpeak.

Literatura

- [1] *STEINBAUER, doc. Ing. Miloslav Steinbauer, Ph.D. Optoelektronika a optoelektronické prvky* [online]. [cit. 03. 01. 2021]. Dostupné z URL: <:https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/140669/mod_resource/content/1/NEO_11.pdf/>.
- [2] *LabGuide. ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM* [online] 27.1.2015. [cit. 03. 01. 2021]. Dostupné z URL: <:https://labguide.cz/fluorochromy/elektromagneticke-spektrum/>.
- [3] *Rayleighův rozptyl. Wikipedia: the free encyclopedia.* [online] . San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 16. 1. 2017. [cit. 03. 01. 2021]. Dostupné z URL: <:https://cs.wikipedia.org/wiki/Rayleigh%C5%AFv_rozptyl>.
- [4] *EVENSEN, Ida Moe. How To Simulate A Natural Daylight Environment Using Artificial Lighting* [online]. UK, London: University of the Arts [online] 23.5.2014. [cit. 03. 01. 2021]. Dostupné z URL: <:https://www.researchgate.net/publication/262536062_How_To_Simulate_A_Natural_Daylight_Environment_Using_Artificial_Lighting_A_Study_on_the_Circadian_Cycle_and_Ways_to_Control_it_by_Light>.
- [5] *[Tým LEDme. Co znamená u LED hodnota CRI? LEDme* [online] . [cit. 03. 01. 2021]. Dostupné z URL: <:https://ledme.cz/textove-novinky/6_co-znamena-u-led-hodnota-cri.html>.
- [6] *Typy světelných zdrojů: projekt 1. lékařské fakulty a Univerzity Karlovy, příspěvek UK k výukovým zdrojům sítě lékařských fakult MEFANET. WikiSkripta* [online] 18. 11. 2020. [cit. 26. 04. 2021]. Dostupné z URL: <:https://www.wikiskripta.eu/w/Typy_sv%C4%9Bteln%C3%BDch_zdroj%C5%AF>.
- [7] *ING. ŠPILÁČEK, Michal. ZDROJE SVĚTLA: STRUČNÝ PŘEHLED* [online] 18. 11. 2020. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ ENERGETICKÝ ÚSTAV Technická 2896/2 616 69 Brno [cit. 26. 04. 2021]. Dostupné z URL: <:https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/08_Elektricka-zarizeni_21-23/22_MMP/050_Zdroje-svetla-1---P1.pdf>.

- [8] *STEINBAUER, doc. Ing. Miloslav Steinbauer, Ph.D. Polovodičové přechody* [online] . [cit. 03. 01. 2021]. Dostupné z URL:
<:https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/140016/mod_resource/content/1/NEO_02.pdf>.
- [9] *Jak LED diody fungují.* [online] LED Solution. [cit. 03. 01. 2021]. Dostupné z URL:
<:https://eshop.ledsolution.cz/led-diody-technicke-udaje/>.
- [10] *Srovnání klasických a LED žárovek* [online] . T-LED.cz, 26. 5. 2016 [cit. 26. 04. 2021]. Dostupné z URL:
<:https://www.t-led.cz/blog/srovnani-klasickych-a-led-zarovek/>.
- [11] *SOUSEDÍKOVÁ, Kristýna. Dopad LED osvětlení na lidský organismus* [online] .světlovpraxi.cz: J2H.sro, 15. 12. 2017 [cit. 26. 04. 2021]. Dostupné z URL:
<:http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/dopad-led-osvetleni-na-lidsky-organismus--2660>.
- [12] *STEINBAUER, doc. Ing. Miloslav Steinbauer Ph.D. Unipolární tranzistory: Návrh elektronických obvodů* [online] [cit. 28. 12. 2020]. Dostupné z URL:
<:https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/140018/mod_resource/content/2/NEO_04%20%281%29.pdf.VUTvBrně>.
- [13] *Pulse Width Modulation. Analog Devices: Ahead of what's possible™* [online] [cit. 01. 03. 2021]. Dostupné z URL:
<:https://wiki.analog.com/university/courses/electronics/electronics-lab-pulse-width-modulation>.
- [14] *LED pásek CCT 5050 2V1 CRI93 60LED 14,4W 12V IP20* [online] [cit. 01. 03. 2021]. Dostupné z URL:
<:https://www.ledshopik.cz/led-pasek-cct-5050-2v1-cri93-60led-14-4w-12v-ip20-x1971>.
- [15] *Dimming Techniques for Switched-Mode LED Drivers* [online] [cit. 26. 04. 2021]. Texas Instrument Dostupné z URL:
<:https://www.ti.com/lit/an/snva605/snva605.pdf?ts=1619205792889&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252F&fbclid=IwAR0Prm7_n2ocVhlxsYsXqiVneNNVqBL1EvOD2feu70j-jFif2lwEFeZHZPk>.
- [16] *Akumulátory: LABORATORNÍ CVIČENÍ Z PŘEDMĚTU Automobilová elektrotechnika* [online] [cit. 01. 03. 2021]. Dostupné z URL:
<:https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/289605/mod_resource/content/1/Akumul%C3%A1tory.pdf>.

- [17] *Schematic showing the intercalation mechanism in Li-ion batteries through charge and discharge. Image Credit: Metrohm AG. Azom* [online] [cit. 01. 03. 2021]. 18. 2. 2020 Dostupné z URL:
<:https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=19013>.
- [18] *Lithium-polymer: Substance or Hype? Battery University* [online] 31.07.2017 [cit. 01. 03. 2021]. Dostupné z URL:
<:https://batteryuniversity.com/learn/article/the_li_polymer_battery_substance_or_hype>.
- [19] *Comparison of commercial battery types. Wikipedia: the free encyclopedia* [online] San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 5. 3. 2021 [cit. 26. 04. 2021]. Dostupné z URL:
<:https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_commercial_battery_types>.
- [20] *Buck Boost Converter: Circuit Theory Working and Applications* [online] [cit. 01. 03. 2021] Dostupné z URL:
<:https://www.elprocus.com/buck-boost-converter-circuit-theory-working-applications/>.
- [21] *Buck Converter: Basics, Working, Design and Operation. Components101* [online] 26. Duben 2019 [cit. 01. 03. 2021]
Dostupné z URL:
<:https://components101.com/articles/buck-converter-basics-working-design-and-operation>.
- [22] *BENEŠ, doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D. Snímače: Snímače polohy, rychlosti a zrychlení* [online] [cit. 01. 03. 2021] Dostupné z URL:
<:Elektronickéučebnítexy>.
- [23] *PHOTONIC SENSORS BUSINESS LINE, Imaging Division. LiDAR in a Chip: FlightSense™ Introduction to Time of Flight* [online] [cit. 01. 03. 2021] Dostupné z URL:
<:https://www.st.com/content/ccc/resource/sales_and_marketing/presentation/product_presentation/group0/e0/84/0c/fb/11/ec/49/1d/SensorsLive_LiDAR_Chip/files/SensorsLive_LiDAR_Chip.pdf/jcr:content/translations/en.SensorsLive_LiDAR_Chip.pdf>.
- [24] *LCD Displeje* [online] [cit. 01. 03. 2021] Dostupné z URL:
<:https://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/26664/mod_resource/content/2/LCD%20displeje.pdf>.

- [25] *Je lepší OLED, nebo LCD* [online] 18. 11. 2017 [cit. 01. 03. 2021] Dostupné z URL:
<:https://www.svetandroida.cz/oled-nebo-lcd-displej/>.
- [26] *BAGHER, Askari Mohammad. Comparison of LED and OLED* [online] Department of Physics, Payame Noor University, Tehran, Iran: Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET), 2016 [cit. 01. 03. 2021] Dostupné z URL:
<:http://saspublisher.com/wp-content/uploads/2016/05/SJET44206-210.pdf>.
- [27] *Overview of ESP32 features. Explore Embedded* [online] [cit. 26. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://www.exploreembedded.com/wiki/Overview_of_ESP32_features._What_do_they_practically_mean%3F/>.
- [28] *Insight Into ESP32 Features & Using It With Arduino IDE* [online] [cit. 26. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://lastminuteengineers.com/esp32-arduino-ide-tutorial/>.
- [29] *ESP32 Deep Sleep & Its Wake-up Sources* [online] [cit. 26. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://lastminuteengineers.com/esp32-deep-sleep-wakeup-sources/>.
- [30] *Analog to Digital Converter. Espressif.com* [online] [cit. 26. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/adc.html>.
- [31] *SPI Tutorial* [online] [cit. 26. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://www.corelis.com/education/tutorials/spi-tutorial/>
- [32] *VALDEZ, Jonathan a Jared BECKER. TEXAS INSTRUMENT. Understanding the I2C Bus. Ti.com* [online] 06.2015 [cit. 26. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf>.
- [33] *AFZAL, Sal. Successful I2C Write Byte Transmission. Analog.com* [online] [cit. 26. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://www.analog.com/jp/technical-articles/i2c-primer-what-is-i2c-part-1.html>.
- [34] *I2C Interface: Technical Deep Dive* [online] 03.2018 [cit. 26. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://slideplayer.com/slide/14843457/>.

- [35] *CAMPBELL, Scott. BASICS OF THE I2C COMMUNICATION PROTOCOL. Circuitbasics.com* [online] 03.2018 [cit. 26. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>.
- [36] *ILI9341: a-Si TFT LCD Single Chip Driver 240RGBx320 Resolution and 262K color* [online] 8F, No. 38, Taiyuan St., Jhubei City, Hsinchu Country 302 Taiwan R.O.C.: ILI TECHNOLOGY [cit. 28. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ILI9341.pdf>.
- [37] *2.8inch SPI Module ILI9341 SKU:MSP2807. Lcdwiki* [online] 12.7.2019 [cit. 28. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:http://www.lcdwiki.com/2.8inch_SPI_Module_ILI9341_SKU:MSP2807#Product_Parameters>.
- [38] *Arduino vs ESP8266 vs ESP32 Comparison. Dii0t* [online] [cit. 28. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://dii0t.com/technical-datasheet-microcontroller-comparison/>.
- [39] *MT3608. Aerosemi Technology Co., Ltd* [online] [cit. 28. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/BB-PWR-3608/resources/MT3608.pdf>.
- [40] *3.3V Step-Up/Step-Down Voltage Regulator S9V11F3S5. Pololu-Robotics&Electronics* [online] [cit. 28. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://www.pololu.com/product/2872>.
- [41] *Discharge Characteristics of Li-ion. Battery University* [online] 6.4.2021 [cit. 28. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://batteryuniversity.com/learn/article/discharge_characteristics_li>.
- [42] *TP5100: 2A-switch buck 8.4V / 4.2V rechargeable lithium battery. Nanjing extension of Microelectronics Co., Ltd* [online] [cit. 30. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://voltiq.ru/datasheets/TP5100-datashhet.pdf>.
- [43] *Nabíječka Li-ion článku TP5100, 2A 1-2S. Laska Arduino* [online] [cit. 30. 04. 2021] Dostupné z URL:
<:https://www.laskarduino.cz/nabijacka-li-ion-clanku-tp5100--2a-1-2s/>.

- [44] *Charging Lithium-ion. Battery University* [online] 24.4.2018 [cit. 30. 04. 2021]
Dostupné z URL:
<:https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_i
on_batteries>.
- [45] *What Is C-rate? Battery University* [online] 3.9.2017 [cit. 30. 04. 2021] Do-
stupné z URL:
<:https://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rat
e>.
- [46] *EZK: Elektronika Ing. Zdeněk Krčmář* [online] [cit. 30. 04. 2021] Dostupné
z URL:
<konektory_se_zamkem.htm>.
- [47] *MicroRobotics* [online] [cit. 30. 04. 2021] Dostupné z URL:
<https://www.robotics.org.za/XT30-SET>.
- [48] *AO3400A: 30 V N-Channel MOSFET. Alpha&Omega Semiconductor* [online]
[cit. 13. 05. 2021] Prosinec 2011 Dostupné z URL:
<Dostupnéz:https://www.tme.eu/Document/d4ede4a51fd4cb2a092d6e19
60f91635/A03400A.pdf>.
- [49] *AON6407: 30 V P-Channel MOSFET. Alpha&Omega Semiconductor* [online]
[cit. 13. 05. 2021] Říjen 2011 Dostupné z URL:
<Dostupnéz:https://www.tme.eu/Document/348f9302baeff33ec68a6649
05c36180/AON6407-DTE.pdf>.
- [50] *AON3493: 20 V P-Channel MOSFET. Alpha&Omega Semiconductor* [online]
[cit. 13. 05. 2021] Červen 2016 Dostupné z URL:
<Dostupnéz:https://www.tme.eu/Document/9458a14a50fed33242b98954
b922051a/A03493.pdf>.
- [51] *HOLBERT, Keith E. Solar Calculation. SolarCalcs* [online] [cit. 20. 05. 2021]
2007, 7 stran Dostupné z URL:
<Dostupnéz:http://holbert.faculty.asu.edu/eee463/SolarCalcs.pd
f>.

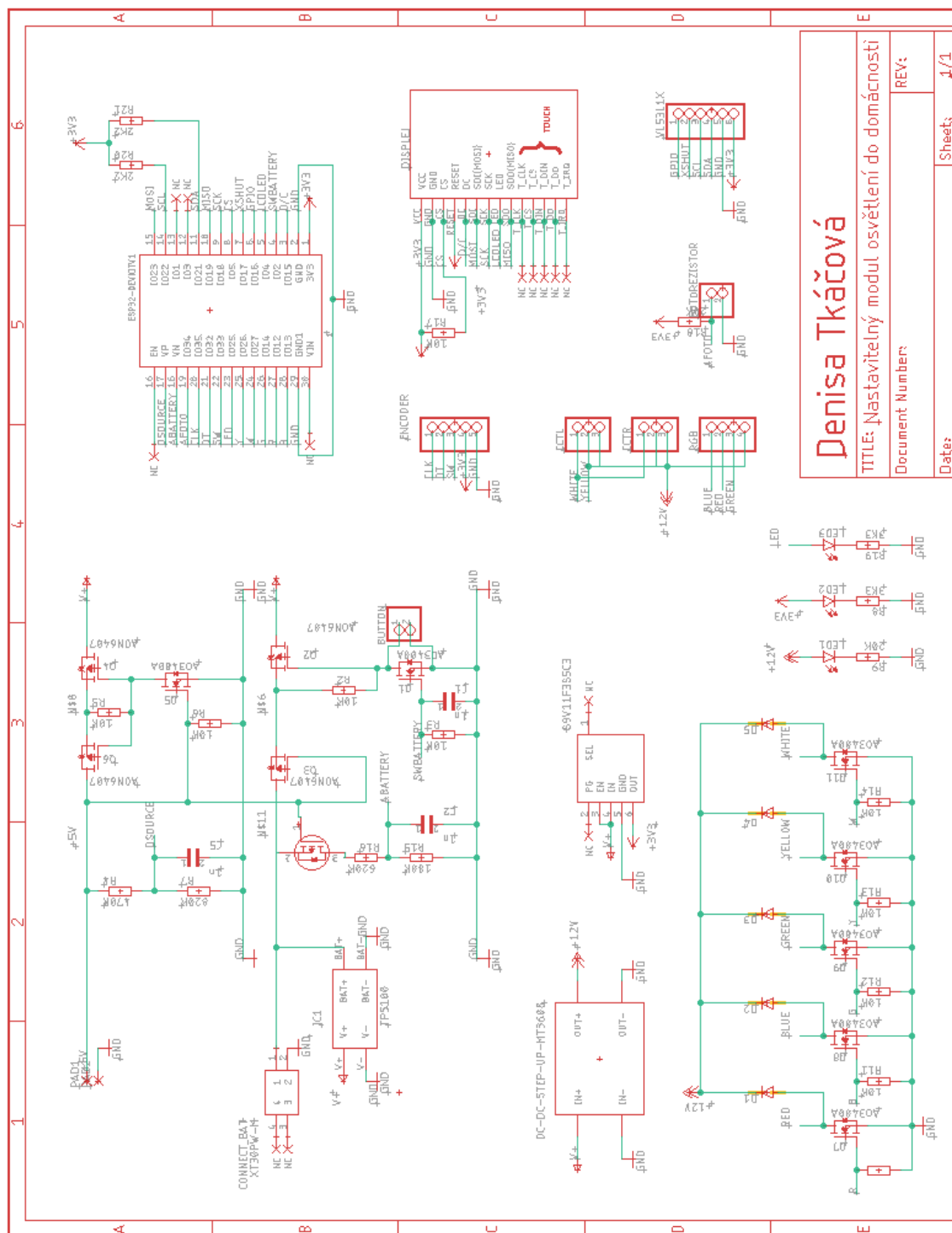
Seznam symbolů a zkratek

CRI	Color Rendering Index
Wi-Fi	Wireless Fidelity
USB	Universal Serial Bus
SRAM	Static Random Access Memory
ROM	Read Only Memory
RTC	Real Time Clock
SPI	Serial Peripheral Interface
I2C	Inter-Integrated Circuit
DPS	Deska Plošných Spojů
IDE	Integrated Development Enviroment
LSTM	Local Standart Time Meridian
AST	Apparent Solar Time
ET	Equation of Time
P_{CCT}	výkon CCT LED pásků
P_{RGB}	výkon RGB LED pásků
P_{LED}	celkový výkon LED pásků
I_{REQ}	požadovaný proudový odběr LED pásků
I_{LED}	skutečný proudový odběr LED pásků
$I_{CHARGER}$	proudový odběr nabíječky
I_{ESP}	proudový odběr ESP a komponent
I	celkový proudový odběr zařízení
U_{LED}	napětí pro LED pásy
U_{Batmin}	minimální napětí baterie

Seznam příloh

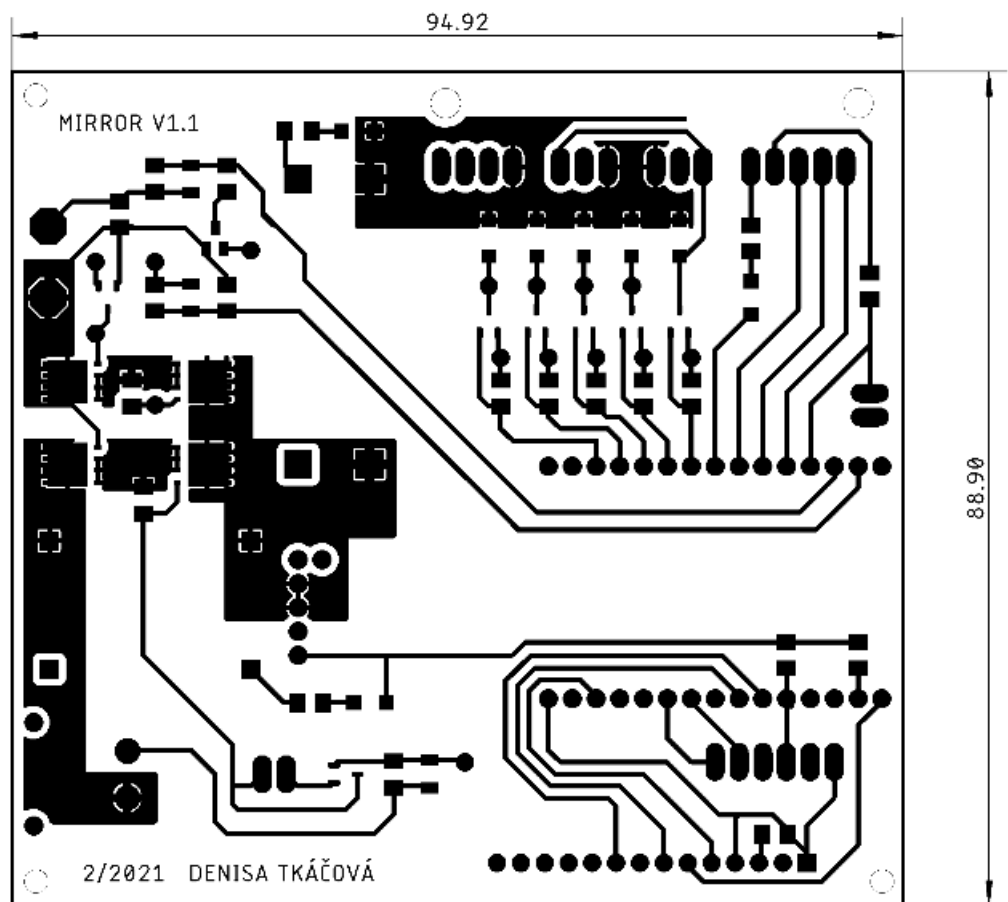
A	Návrh zapojení	75
B	Deska plošných spojů	76
C	Seznam součástek	79
D	Obsah elektronické přílohy	80

A Návrh zapojení

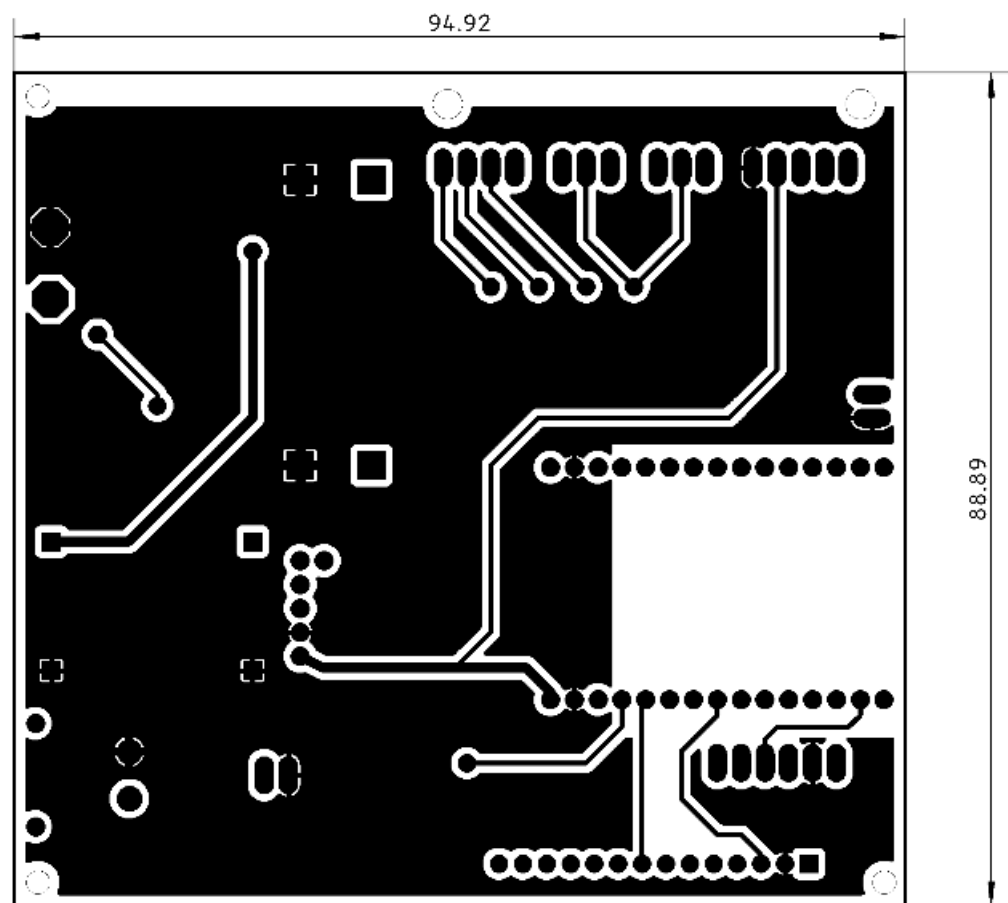


Obr. A.1: Návrh zapojení

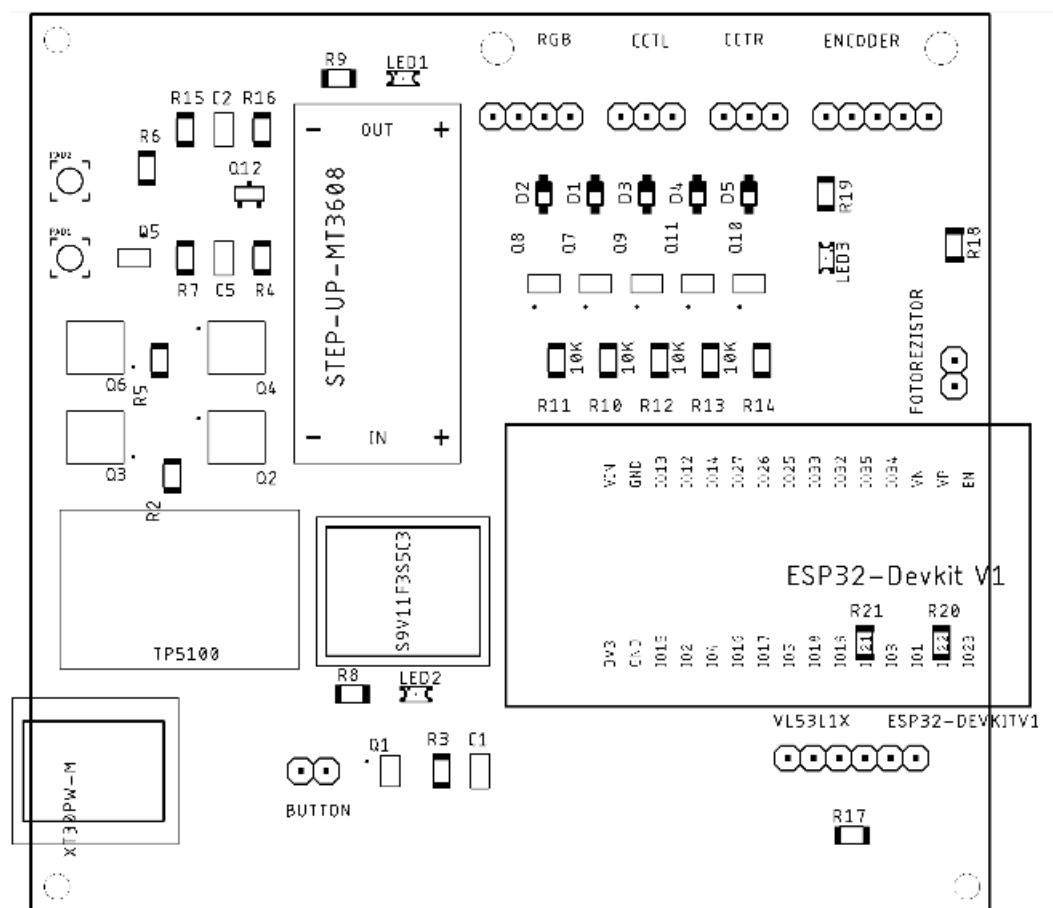
B Deska plošných spojů



Obr. B.1: DPS - Top



Obr. B.2: DPS - Bottom



Obr. B.3: Osazovací výkres

C Seznam součástek

Rezistory				
R [Ω]	Počet	Označení		Pouzdro
2K2	2	R20,R21		SMD 1206
3K3	2	R8,R19		SMD 1206
10 K	11	R2,R3,R5,R6,R9,R10, R11,R12,R13,R14,R17		SMD 1206
20K	2	R9,R18		SMD 1206
180K	1	R15		SMD 1206
470K	1	R4		SMD 1206
620K	1	R16		SMD 1206
820K	1	R7		SMD 1206
Tranzistory				
Typ	Počet	Označení		Pouzdro
AO3400A	7	Q1,Q5,Q7,Q8,Q9,Q10, Q11		SOT23
AON6407	4	Q2,Q3,Q4,Q6		DFNx6
AO3493	1	Q12		SOT23
Diody				
Typ	Počet	Označení		Pouzdro
LED červená	3	LED1,LED2,LED3		SMD 1206
Schottkyho MBR130LSFTG	5	D1,D2,D3,D4,D5		SOD123F
Kondenzátory				
C [F]	Typ	Počet	Označení	Pouzdro
1n	keramický	3	C1,C2,C3	SMD 1206
Konektory				
Typ		Počet	Označení	
PSH02-1X02		2	BUTTON, FOTOREZISTOR	
PSH02-1X03		2	CCTL,CCTR	
PSH02 -1X04		1	RGB	
PSH02-1X05		1	ENCODER	
PSH02-1X06		1	VL53L1X	
BLS-1X15		3	ILI9341_2.8" , ESP32-DEVKITV1	
XT30PW		1	CONNECT_BAT	
Moduly				
Typ		Počet	Označení	
Step-up		1	STEP-UP-MT3608	
Step-up/down		1	S9V11F3S5C3	
Nabíječka		1	TP5100	
mikroprocesor		1	ESP32DEVKITV1	
displej		1	ILI9341_2.8"	

D Obsah elektronické přílohy

/	kořenový adresář
└─ pdf	textová dokumentace
└─ BP2021Tkacova		
└─ src	implementovaný kód v Arduino IDE
└─ Mirror.ino		
└─ BatteryEye.ino		
└─ changeColor.ino		
└─ printCircleBar.ino		
└─ printTime.ino		
└─ sunPosition.ino		
└─ VL53L1X.ino		
└─ eagle	návrh zapojení a DPS v programu EAGLE
└─ Mirror.brd		
└─ Mirror.sch		